



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Hendrik Saarnak

**IMPULSSTOITSESEADMETE PÕHJUSTATUD HÄIRINGUD
MADALPINGEVÕRGUS ELEKTRILIINSIDELE**

**DISTURBANCES ON POWER-LINE COMMUNICATION CAUSED BY
SWITCHED-MODE POWER SUPPLIES**

Juhendaja: Janar Kalder, *PhD*

Tehnika ja tehnoloogia

3. kursus

Tartu 2021

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Fr. R. Kreutzwaldi 1, Tartu 51006			
Autor: Hendrik Saarnak		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Impulsstoiteseadmete põhjustatud häiringud madalpingevõrgus elektriliinsidele			
Lehekülgi: 45	Jooniseid: 45	Tabeleid: 0	Lisasid: 0
Osakond / Õppetool: Energiakasutuse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika,			
4.17. Energeetikaalased uuringud,			
T140 Energeetika			
Juhendaja(d): Janar Kalder			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021			
<p>Lõputöös uuritakse impulsstoiteseadmete poolt põhjustatud kõrgesageduslikku müra madalpingevõrgus ja selle mõju PLC arvestite kauglugemisele. Üks rikkis toiteseade võib häirida kümnete arvestite kauglugemist ning nende seadmete leidmine ja asendamine on võrguettevõttele kulukas. Uuritavad toiteseadmed on müra põhjustajatena leitud ja eemaldatud Elektrilevi madalpingevõrgust Enefit Connecti töötajate poolt.</p> <p>Lõputöö eesmärk on selgitada välja konkreetne põhjus, miks osad toiteseadmed hakkavad normaalsest märkimisväärselt kõrgemat võrgumüra tekitama. Lisaks püütakse välja selgitada, kui palju mõjutab rike toiteseadme väljundit. Uuritakse nelja erinevat impulsstoiteseadet. Uurimuse käigus tehakse mõõtmisi nii toiteseadme sisendi, kui ka väljundi poolel. Peale esialgseid mõõtmisi püütakse leida ja parandada toiteseadme rike, seejärel korratakse mõõtmisi samadel tingimustel ja võrreldakse saadud tulemusi.</p> <p>Lõputöös uuritud toiteseadmetel õnnestus leida ja parandada võrgumüra põhjustav komponent. Kõikide uuritud toiteseadmete korral vähenes müra võrku genereerimine oluliselt peale silukondensaatori vahetust. Kolmel juhul neljal vähenes samal ajal oluliselt</p>			

ka toiteseadme väljundpinge kõikumine. Teema on huvitav ka sellelt vaatenurgalt, et kelle kulul peaks võrgust eemaldama taolisi rikkes toiteseadmeid, mis üle lubatud normide võrgumüra põhjustavad. Seadmed võivad ohustada nii kliendi enda paigaldist, kui ka teisi lähedal olevaid kliendipaigaldisi. Hetkel on kõik seotud kulud jäänud võrguettevõtte kanda.

Märksõnad: Elektriliinside, võrgumüra, impulsstoiteseadmed, kauglugemine

Estonian University of Life Sciences Fr. R. Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Hendrik Saarnak		Curriculum: Engineering	
Title: Disturbances on Power-Line Communication Caused by Switched-Mode Power Supplies			
Pages: 45	Figures: 45	Tables: 0	Appendixes: 0
Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering 4.17. Energetic Research T140 Energy research Supervisors: Janar Kalder Place and date: Tartu 2021			
<p>This thesis investigates the high-frequency noise caused by switched-mode power supplies in the low-voltage network and its effect on the remote reading of PLC meters. One faulty power supply can interfere with the remote reading of dozens of meters. Finding and replacing these devices is costly for the network company. The power supplies under investigation have been found to be causing noise and have been removed from Elektrilevi's low-voltage network by Enefit Connect employees.</p> <p>The aim of the thesis is to find out the specific reason why some power supplies start to generate significantly higher noise than normal. In addition, an attempt is made to determine how much the failure affects the output of the power supply. Four different power supplies are being studied. In the course of the study, measurements are made on both the input and output side of the power supply. After the initial measurements, an attempt shall be made to locate and rectify the failure of the power supply. Measurements shall be repeated under the same conditions and the results obtained compared.</p>			

For all power supplies studied, the generation of noise in the network was significantly reduced after the replacement of the smoothing capacitor. In three cases out of four, the fluctuation of the output voltage of the power supply also decreased significantly. The topic is also interesting from the point of view of who should remove such faulty power supply devices from the network at their expense, which cause mains noise exceeding the permitted norms. The equipment may endanger the customer's own installation as well as other nearby customer installations. At the moment, all related costs are borne by the network operator.

Keywords: Power line communication, switch-mode power supply, electromagnetic interference, remote meter reading

SISUKORD

LÜHENDID	7
SISSEJUHATUS	8
1. Elektriliinside (PLC-Power Line Communication).....	9
2. ELEKTRILEVI KAUGLUGEMINE.....	12
3. KASUTATUD MÕÕTESEADMED	16
3.1. Swemet MFA-400 Multifrequency Analyser	16
3.2. Bitscope BS05U.....	17
3.3. Multimeeter UNI-T UT139C	18
4. UURITAVAD TOITEPLOKID	19
4.1. OEM mudel ADS 18-1B-220082	21
4.2. Motorola NU12-6120100-I3.....	26
4.3. CGSW-12005000.....	31
4.4. Nimetu 5v1A toiteplokk	36
4.5 Järeldused.....	41
KOKKUVÕTE	42
KIRJANDUSE LOETELU.....	43

LÜHENDID

ELS – Elektriliinside

PLC arvesti – Kauglugemisel Power Line Communication ehk elektriliinsidet kasutav arvesti

P2P arvesti – Kauglugemisel mobiilsidet kasutav arvesti

SNR – Signal to Noise Ratio ehk signaali müra suhe

BER – Bit Error Rate ehk bitivea tõenäosus

IOT – Asjade internet (Internet of Things)

SISSEJUHATUS

Elektrilevil on üle Eesti väga palju arvesteid, mille näitusi tuleb vähemalt kord ööpäevas lugeda. Näitude lugemine toimub kauglugemise teel. Elektri jaotusettevõtetel on hea võimalus kasutada olemasolevat jaotusvõrgu taristut ka võrguhalduse eesmärgil. Arvestite näitude lugemiseks kasutatakse suure osa arvestite puhul just olemasolevat jaotusvõrku kasutavat elektriliinsidet.

Elektriliinside kasutamisel võrgu haldamisel on mitmeid plusse ja miinuseid. Jaotusvõrgus peab koos töötama lugematu hulk erinevaid seadmeid, mis kõik teatud viisidel võrku mõjutavad. Elektriliinside kasutamisel jaotusvõrgus peab arvestama teiste võrgus töötavate seadmetega.

Elektrilevi kogemus on näidanud, et osad rikega seadmed võivad elektriliinsidet oluliselt mõjutada. Lõputöös uuritakse impulsstoiteseadmeid ehk just sellised seadmed, mis rikke korral võivad põhjustada võrgumüra häirides sellega arvestite kauglugemist.

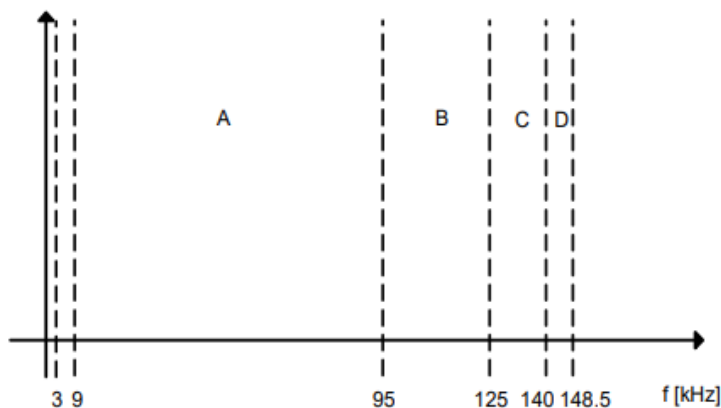
Töö on jaotatud kolmeks põhiosaks. Esimeses osas antakse ülevaade elektriliinsidest, teises osas tuleb konkreetsemalt juttu Elektrilevi poolt kasutatavatest elektriarvestite kauglugemise süsteemidest. Kolmandas osas uuritakse elektriliinsidet häirivaid rikkega toiteplokkide, mis Enefit Connecti töötajate poolt kliendi paigaldistest kokku on korjatud.

1. Elektriliinside (PLC-Power Line Communication)

Elektriliinside kasutab andmete edastamiseks olemasolevaid elektriliine, samal ajal on elektriliinide põhiülesandeks olla elektrienergia kandja elektrijaamadest tarbijateni.[1]

ELS puhul kasutatakse kindlaid sagedusvahemikke – elektrivõrku saadetakse mingi kindla sagedusega pingesignaal, mis lisandub olemasolevale võrgupingele. Kuna elektromagnetspektrit kasutatakse väga tihedalt eri info edastamiseks, on see Euroopa tasandil reguleeritud, mis sagedusvahemikku tohib ELS korral kasutada. Lisaks on reguleeritud, kui tugev tohib olla võrku emiteeritud pinge, et mitte kahjustada võrgus töötavaid teisi seadmeid.[2]

Joonisel 1 on Cenelec standardis toodud sagedusvahemikud.



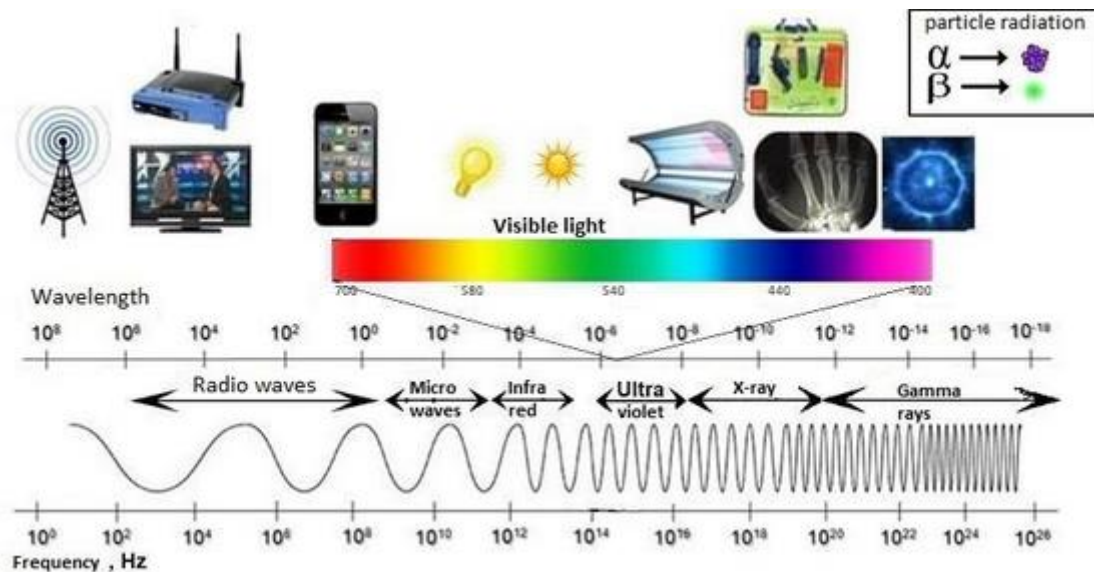
Joonis 1. CENELEC standardi ELS sagedusvahemikud [2]

CENELEC standard reguleerib võrguettevõtete jaoks kasutatavat ELS sagedusala. CENELEC A sagedusriba tohib kasutada ainult võrguhalduse eesmärgil (näitude lugemine, võrgumonitoring, kauglülitamine). Selles sagedusvahemikus ei tohi teatud võimsusega signaali teised seadmed võrku genereerida. [2]

Seepärast peab osade seadmete ees kasutama müra filtreid. Impulsstoiteplokkides on müra filter seadmesse sisseehitatud. Põhiliselt on kasutusel LC tüüpi madalpääsfiltrid. Filtrid

disainitakse vähendada müra kindlas sagedusvahemikus. Koosnevad eri ühendustes induktiivpoolidest ja kondensaatoritest, osadel juhtudel ka aktiivtakistitest. [3]

Elektromagnetlained suudavad levida väga erinevates keskkondades kaasa arvatud vaakumis. Muutuv elektriväli tekitab muutuva magnetvälja, mis omakorda tekitab kaugemal ruumi piirkonnas muutuva elektrivälja. Antud nähtusel on tehnikas palju praktilisi kasutusi. Joonisel 2. On näha elektromagnetlainete spekter koos erinevate kasutusala-dega [4]



Joonis 2. Elektromagnetspekter [4]

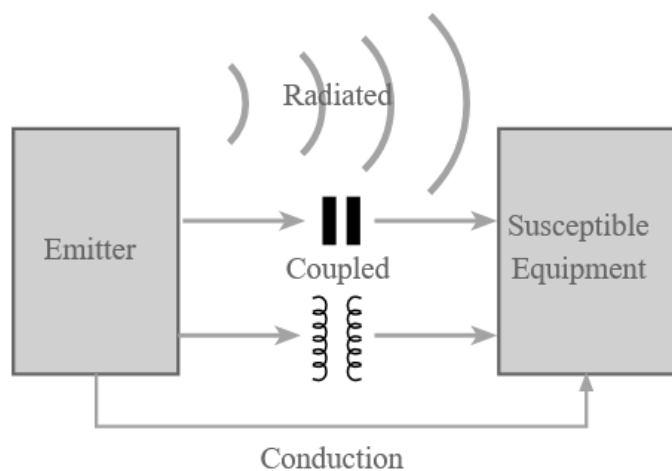
Elektromagnet lainete levimist kirjeldab valem[4]:

$$c = \lambda \cdot f$$

c – valguskiirus, λ - lainepikkus, f – sagedus

Antud valem näitab, et mida madalam sagedus seda suurem lainepikkus. Mida pikem on lainepikkus seda kaugemale laine levib. Lisaks kehtib elektromagnet lainete puhul seos, mida suurem sagedus seda suurem energiatihedus. Suurema sagedusega elektromagnetlained ei levi väga kaugele, kuid suudavad läbistada erinevaid keskkondi, näiteks röntgen lained, mis läbivad pehmet kudet, kuid ei läbi luid.[4]

Joonisel 3 on näidatud erinevad elektromagnetlainete levimise viisid.



Joonis 3. Elektromagnetlainete levimise viisid [5]

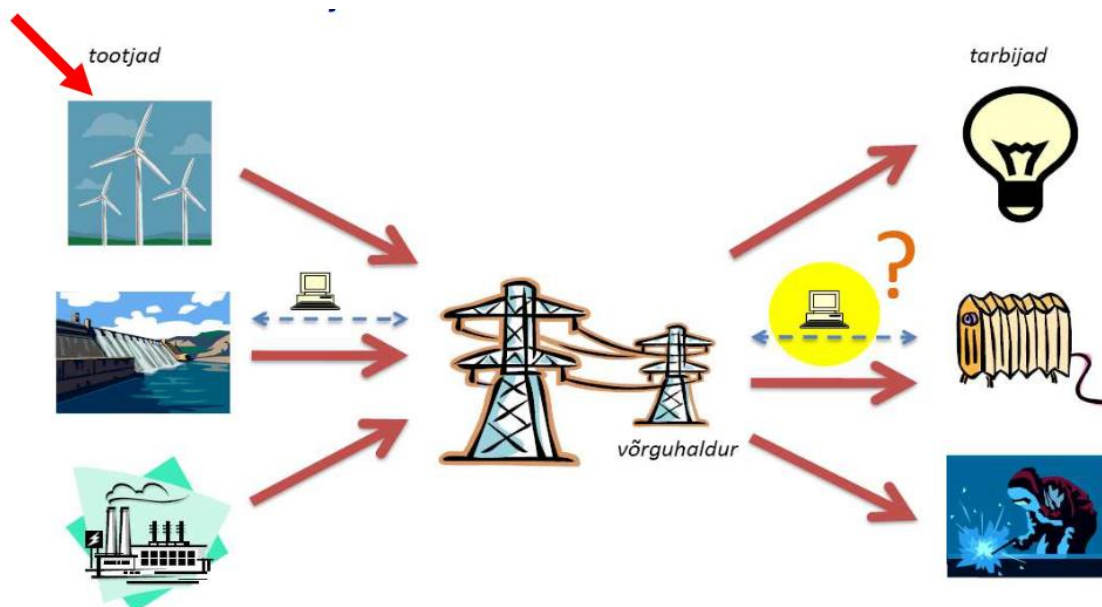
Need seaduspärasused ja elektromagnetspektri lai kasutus on olulised mõistmaks, miks on ELS puhul kasutusel just antud kitsas sageduste vahemik. Kui ELS korral kasutada näiteks FM raadio sagedusega (87,5-108MHz) kattuvaid sagedusi, siis toimiks elektrivõrk suure antennina, mis emiteeriks antud sagedus alase elektromagnetlaineid ja raadio edastamine antud sagedusel ei oleks enam mõistlikult teostatav.

ELS on viimase paarikümne aasta jooksul kiiresti populaarsust kogunud tänu tehnoloogia arengule ja andmeedastus kiiruste kasvule. Esimesed ELS rakendused olid raskesti ligipääsetavate voolumõõtja näitude lugemiseks ja võrgu koormuste kaugelt juhtimiseks. Algselt pidid kasutatavad signaali võimsused olema väga suured ning seetõttu olid ka energeetiliselt kulukad. [6]

ELS puhul on madalad sagedused head suhtluseks suurema vahemaa (mõned kilomeetrid) puhul, vahemaid on võimalik pikendada repiiterite abil. Madala sageduse (3-500kHz) miinus on madal andmeedastus kiirus, kuni 100kbs. Kuna arvesti tarbimisandmed ei ole kuigi mahukad, siis sobib antud sagedus selleks otstarbeks hästi. Kõrgemaid sagedusi (1,7-80MHz) kasutatakse interneti edastamiseks elektriliinide kaudu (BPL – Broadband over Power Lines). Sellise andmeedastus kaugused on piiratud ja neid kasutatakse enamasti hoonete piires. Võimalik saavutada andmeedastus kiiruseid üle 100 Mbs. Selles sagedusalas töötavad andmeedastus seadmed on samuti võrgumürale tundlikud. [7,8]

2. ELEKTRILEVI KAUGLUGEMINE

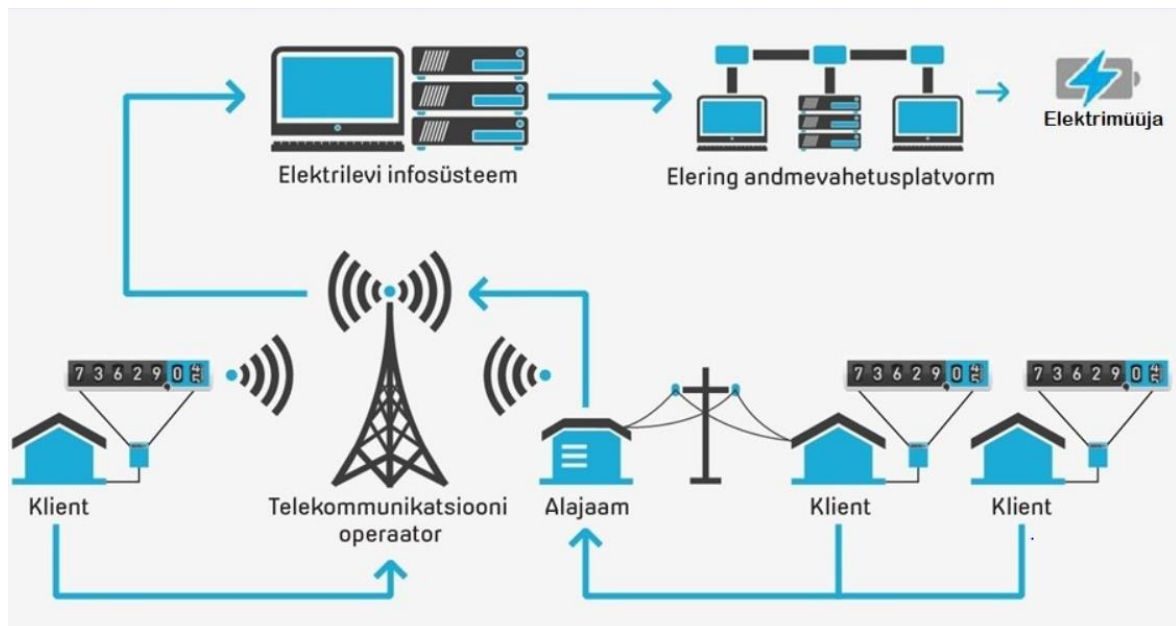
Elektrilevil on üle 504 000 elektrivõrguteenuse kliendi, ca 60 000 km elektriliine ja 24 000 alajaama üle eesti [9]. Elektrilevi tegevust reguleerib Elektriturseadus, mis muuhulgas seab kohustused ja viisid tarbimisandmete lugemiseks ning edastamiseks.[10] Joonisel 4 on toodud elektrivõrgu toimimise skeem. Jooniselt 4 on näha, et elektrivõrgus on palju erinevaid osapooli ning tarbijaid, see muudab ELS kasutamist keerulisemaks võrku genereeritavate eri sagedustega müra tõttu.



Joonis 4. Jaotusvõrgu skeem koos tarbijate ja tootjatega [11]

Tarbimisandmeid kogutakse vähemalt tunni täpsusega, ehk kui palju energiat tarbiti tunni jooksul. See on oluline avatud elektrituru toimimise seisukohalt – iga tund võib olla erinev hind. Seetõttu tuleb leida viis tarbimisandmete usaldusväärseks kogumiseks piisavalt tiheda intervalliga. Andmete edastus arvestist süsteemi toimub minimaalselt kord päevas. Arvesti püüab andmeid edastada, kuni saab kontsentraatorilt kinnituse andmete kätte saamise kohta.

Elektrilevi kasutab kahte erinevat tüüpi arvesti andmete esitamise viisi. P2P ja PLC. Joonisel 5 on näha erinevad andmeedastus viisid.



Joonis 5. Andmeedastus Elektrilevi võrgus.[12]

Joonisel 5 on näha tarbimisandmete edastus viisid, joonisel 5 vasakul pool paikneva kliendi puhul on tegemist P2P andmeedastus viisiga. P2P kasutab andmeedastuseks mobiilside võrku. Paremal pool asetsevate klientide puhul on tegemist PLC ehk elektriliinsidet kasutava andmeedastus viisiga. PLC arvesti puhul edastab arvesti vähemalt kord päevas tunni täpsusega tarbimisandmed kontsentraatorile mööda elektriliine. Enamasti alajaamas asetsev kontsentraator kogub kõikide antud alajaamas olevate PLC arvestite tarbimisandmeid ning edastab need Elektrilevi infosüsteemi kasutades mobiilsidet. Enamus klientide andmeid edastatakse kasutades just elektriliinsidet. PLC arvesti on P2P arvestist ligi kaks korda odavam ning lisaks puudub ka sõltuvus telekommunikatsiooni operaatorist.[12]

Joonisel 6 on toodud Elektrilevi poolt kasutatav PLC arvesti ning joonisel 7 on kasutatav kontsentraator.



Joonis 6. Elektrilevi poolt kasutatav PLC elektriarvesti ZMXi320[13]



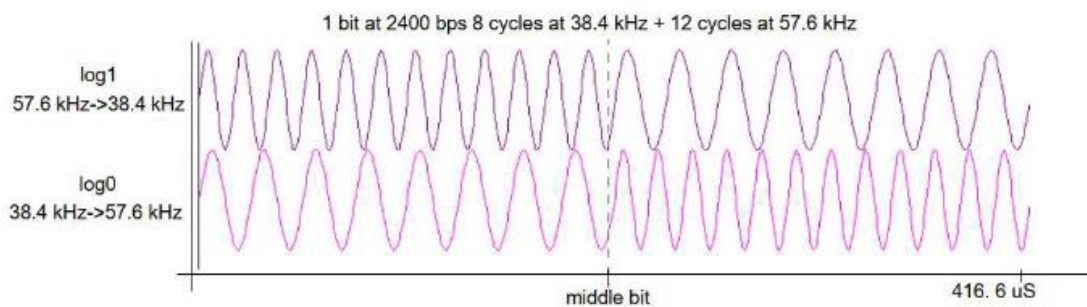
Joonis 7. Elektrilevi poolt kasutatav kontsentraator DC450 [14]

DC450 suhtleb arvestiga kasutades ELS sidet, täpsemalt PLAN protokoll CENELEC A-sagedusel (9-95kHz).[14]

Elektrilevi võrgus on kasutusel ELS kaudu infoedastamiseks modulatsiooni-kandevsagedused 63,3 ja 74kHz. Need jäävad CENELEC A-sagedusalasse. CENELEC A on spetsiifiline sagedusriba, mida ei tohi rakendada muudel eesmärkidel, kui jaotusvõrgu toimimine. Jaotusvõrgu toimimise alla kuulub nii jaotusvõrgu juhtimine, kui ka seal

tehtavate mõõtmistega seotud kommunikatsioonid. Sellest kõrgemaid sagedusribasi(95-148,5kHz) on lubatud kasutada piirangutega nt IOT(Internet Of Things), tänavavalgustuse juhtimine, elektriautode laadimine jms.[15]

Elektrilevi võrgus edastatakse andmed signaali S-FSK (spread srequency-shift keying) modulatsiooniga. Kasutatakse kahte erinevat sagedust (63,3 ja 74kHz), kus üks tähistab olekut „kõrge,, ja teine olekut „madal,,. Kasutatakse Manchesteri kodeerimist, mida selgitab joonis 8.[15]



Joonis 8. FSK modulatsiooni põhimõte Manchesteri kodeerimisega

Manchesteri kodeerimise puhul kasutatakse ühe biti edastamiseks kahe järjestikuse sagedus oleku saatmisega. Joonisel 8 puhul edastatakse näiteks log 1(ülemine) puhul biti väärtus 0 ning log0(alumine) puhul biti väärtus 1. Manchesteri kodeerimise eeliseks on, et iga biti edastuse juures toimub sageduse vahetus, mida on süsteemidel lihtsam tuvastada.[15]

Kuigi CENELEC-A reguleerib maksimaalset antud sagedusribasse jäävat pingekomponenti, siis juhtub siiski, et võrgumüra tõttu ei toimi ELS korralikult. Andmeedastusega samasse sagedusalasse jääv müra võib hakata varjutama saadetud signaali. Andmeedastuse puhul on teatud kriitiline signaali-müra suhe (SNR – signal to noise ratio) kus andmeedastus veel toimub. Mida väiksem on SNR, seda suuremaks muutub biti vea tõenäosus (BER-Bit Error Rate).[16]

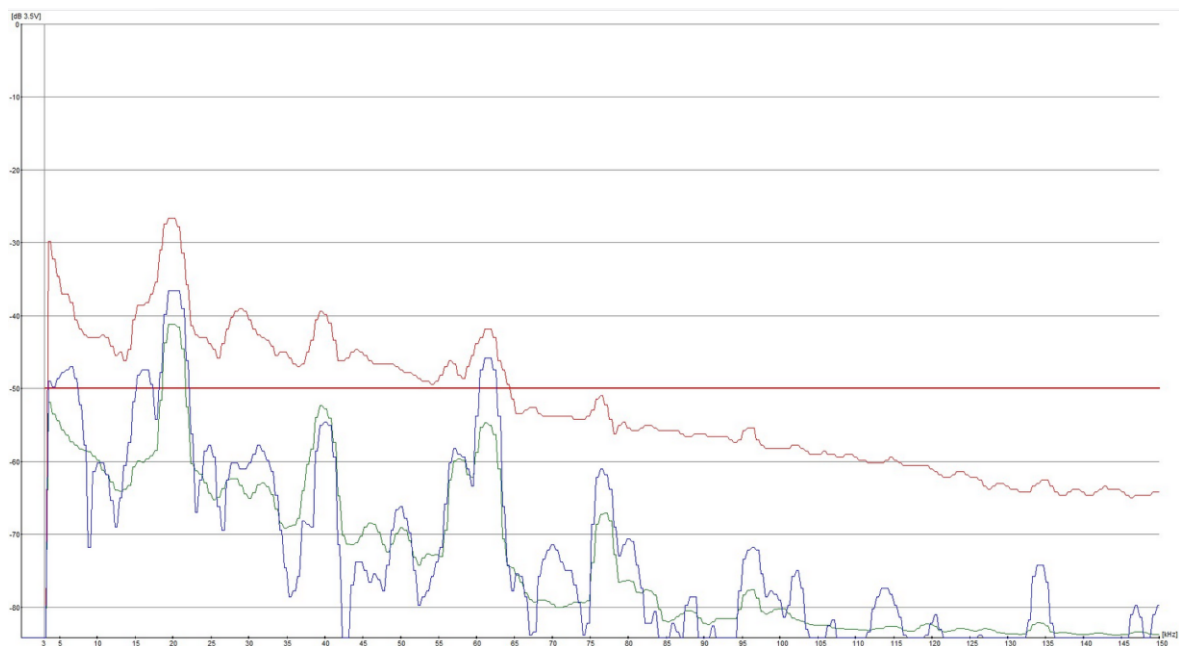
Võrgumüra selles sagedusvahemikus võivad põhjustada mitmed seadmed. Taoliste andmeside häireid põhjustavate seadmete otsimiseks on Elektrilevi võrgus tööalal üksus, kes tegeleb ELS andmesidet häiriva müra probleemide lahendamisega. Kuigi antud sagedusalas on mitmeid erinevaid müra põhjuseid, siis käesolevas lõputöös uurime impulsstoiteseadmete poolt põhjustatavat võrgumüra.

3. KASUTATUD MÕÕTESEADMED

3.1. Swemet MFA-400 Multifrequency Analyser

Swemet MFA-400 mõõdab võrgumüra sagedusvahemikus 3-150kHz. Tegemist on spetsiaalse tööriistaga, mille abil otsitakse võrgumüra põhjustajaid. MFA 400 on kasutusel mitmetes võrguettevõtetes, kus toimub kauglugemine kasutades ELS-i. Rootsisis kasutas 2012 aastal 75% elektritarbijaid just MFA 400-t ELS side korrastamiseks[17].

Katsete käigus kasutati MFA-400-t võrgumüra mõõtmisel katsekojas. Mõõtmised teostati samast pikendusjuhtmest, kuhu lülitati ka uuritav toitesead. Joonisel 9 on toodud pilt MFA-400 mõõtmistulemustest katsekojal, kusjuures antud juhul ei ole uuritavaid katseseadmeid võrku lülitatud.



Joonis 9. MFA-400 poolt mõõdetud võrgumüra katsekojal

Joonisel 9 on x-teljel toodud sagedus kHz vahemikus 3-150Hz. Y-teljel on signaalitugevus 0 kuni -90 dB_{3,5V}. Punase joonega on toodud piikväärtus antud mõõteperioodil, roheline joonega on toodud mõõteperioodi keskmine väärtus ning sinisega on märgitud hetkeväärtus.

Kasutatav dBV on logaritmiline suurus, mille abil on võimalik ühel graafikul kujuta väga erinevaid pingeväärtusi. Pingeväärtus leitakse valemiga:

$$L \text{ in dB} = 20 \times \log\left(\frac{V}{V_0}\right), \quad V = V_0 \times 10^{\frac{L \text{ in dB}}{20}} \quad [18]$$

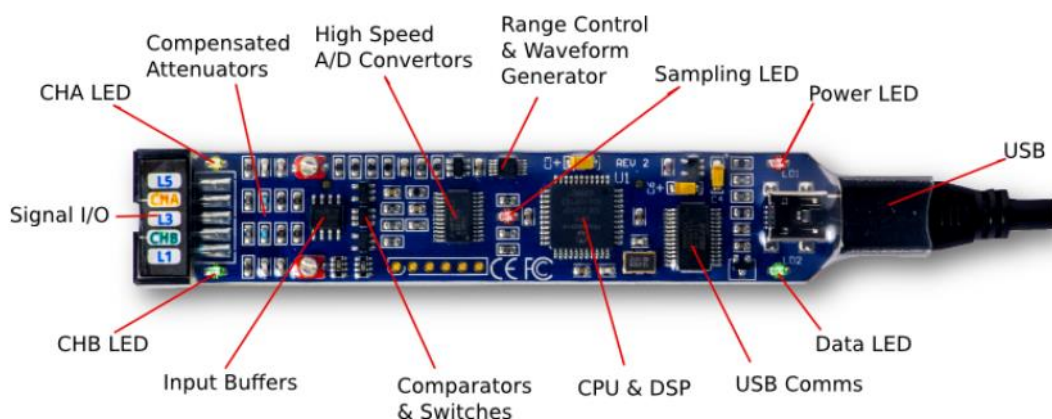
Konkreetsel juhul $V_0=3,5\text{V}$, seega $0\text{dB}3,5\text{V}$ tähendab pinget $3,5\text{V}$ ja näiteks $-60\text{dB}3,5\text{V}$ puhul tuleb $V = V_0 \times 10^{\frac{L \text{ in dB}}{20}} = 3.5 \times 10^{\frac{-60}{20}} = 0.004\text{V} = 4\text{mV}$.

Elektrilevi madalpingevõrgus lubatud signaalipinge sagedusel $63,3 \text{ kHz}$ on $1,64 \text{ V}$ ning sagedusel 74 kHz on $1,50 \text{ V}$ [15]. Seega antud graafikul asetsevad need vastavalt $1,64 \text{ V} = -6,6 \text{ dB}3,5\text{V}$ ja $1,5 \text{ V} = -7,4\text{dB}3,5\text{V}$. Siinkohal tuleb märkida, et see on maksimaalne lubatud väärtus ning üldjuhul ei õnnestu täpselt sellise väärtusega signaliseerimine.

3.2. BitScope BS05U

Mõõteseade oli lõputöös kasutusel toiteseadmete väljundpinge mõõtmisel.

Tegemist on digitaalse 2+6 kanaliga ostsiloskoobiga. Ribalaius 20MHz , diskreetimissagedus 40MS/s . Mõõdetav sisendi suurus $1,1\text{-}11\text{V}$. Joonisel 10 on näha kasutatud mõõteseade. [19]



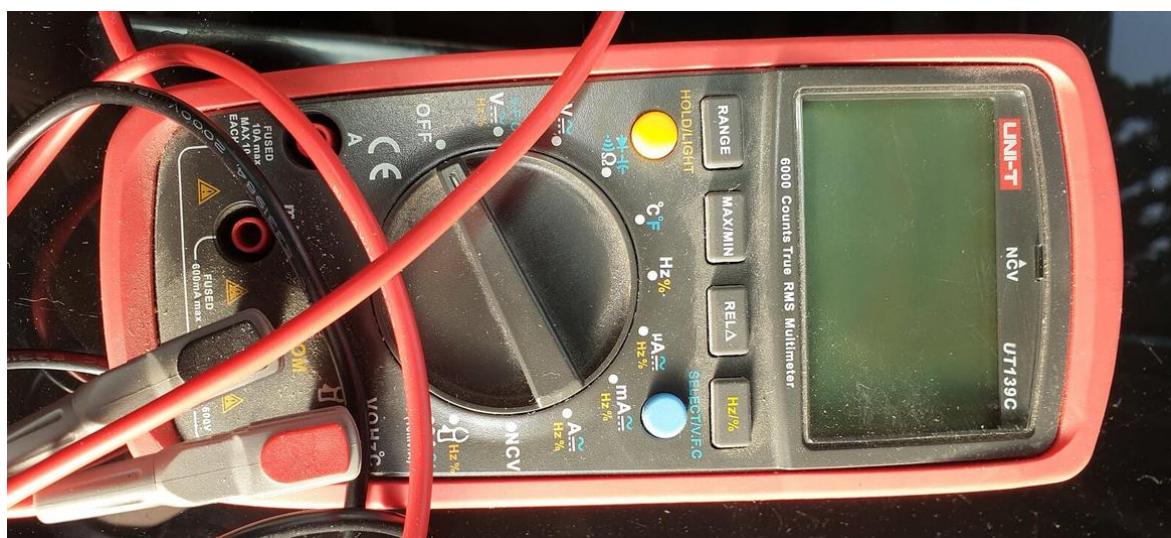
Joonis 10. BitScope BS05U koos komponentide selgitusega

Kuna mõnede lõputöös mõõdetavate toiteseadmete väljundpinge oli suurem, kui 11V , siis nendes olukordades kasutati ostsiloskoobi mõõtejuhtmeid OWON P2060, mis võimaldasid

10 kordset atenueerimist. Sellega oli võimalik laiendada võimalikku mõõtevahemikku 110 V-le.

3.3. Multimeeter UNI-T UT139C

Multimeetrit kasutati katsete juures toiteseadme väljundpinge olemasolu kontrolliks. Lisaks mõõdeti uuritava koormuse all oleva toiteploki poolt tekitatud voolu suurust. Mõõdeti ka koormustakistuste takistust. Kasutati ka kondensaatorite mahtuvuse mõõtmisel. Joonisel 11 on näha katsetes kasutatud multimeeter.

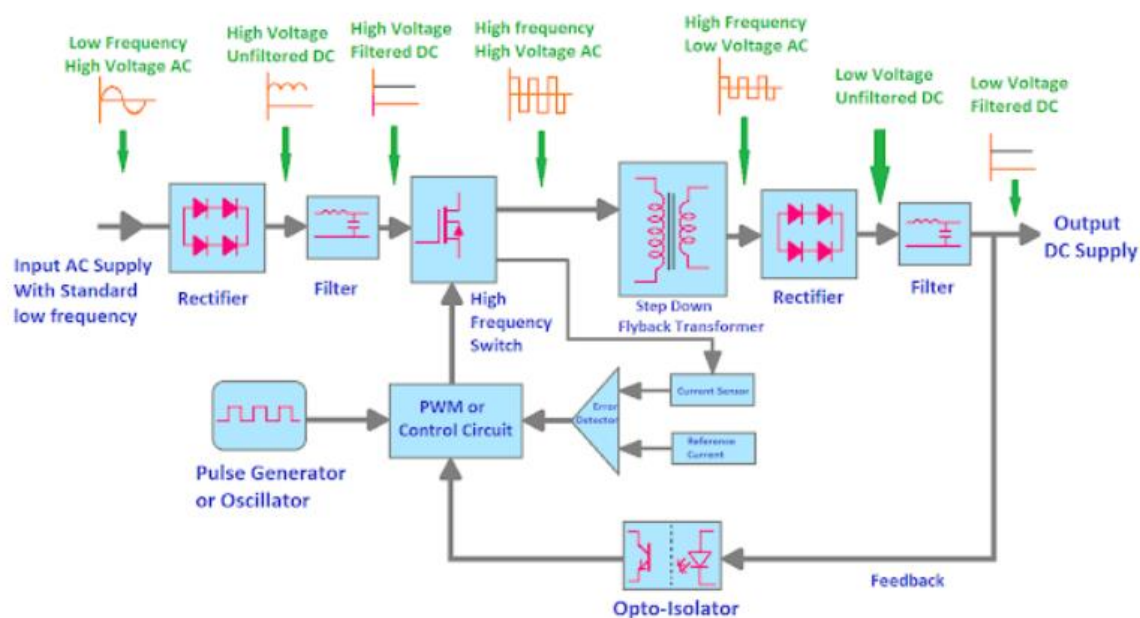


Joonis 11. Multimeeter UNI-T UT139C

Multimeetrit kasutati katsete käigus eelkõige abistava ja kontrolliva mõõteriistana.

4. UURITAVAD TOITEPLOKID

Kõikide käesolevas lõputöös uuritavate toiteplokkide ülesanne on muuta jaotusvõrgust tulev vahelduvvool toidetavale seadmele sobiva pingega alalisvooluks. Lisaks on kõikide uuritavate toiteplokkide puhul tegemist impulsstoiteallikatega (ing. *SMPS switched-mode power supply*). Joonisel 12 on näha impulsstoiteseadme plokk-skeem.



Joonis 12. Impulsstoiteseadme plokk-skeem [20]

Joonis 12 algab sisse tuleva madalsagedusliku 50Hz siinuselise vahelduvvooluga. Jooniselt 12 on puudu käesoleva teemaga seoses oluline plokk- LC madalpääsfilter. LC madalpääsfiltril on kaks ülesannet, esiteks takistada toiteseadme poolt põhjustatud kõrgsagedusliku müra emiteerimist võrku. Teiseks takistada võrgust tuleva kõrgsagedusega müra jõudmist toiteseadme väljundisse. Peale filtrit toimub vahelduvvoolu alaldamine alaldis (Rectifier). Muundatud pulseeriv alalisvool suunatakse LC ahelasse (filter), kus alalisvool silutakse. Silutud alalisvool, mis on võrgupingest ligi kaks korda suurema pingega, suunatakse kõrgsageduslikku lülitisse (high frequency switch). Juhtplokk (Control Circuit), mis saab tagasisidet toiteseadme väljundist, annab kõrgsageduslikule lülitile kõrge

sagedusega sisendi (20-200Hz). Alalisvool muundatakse selle abil kõrge sagedusega impulssideks. Kõrgsageduslikud impulsid suunatakse pingelalandus transformaatorisse (Step Down Flyback Transformer), kus alandatakse pinge vastavalt väljundi vajadusele. Seejärel toimub kõrgsagedusliku madalpinge vahelduvvoolu alaldamine alaldis (Rectifier), tekib pulseeriv alalisvool. Järgmiseks käib vool läbi LC ahela (filter), kus vool silutakse ühtlaseks väljundile sobivaks alalisvooluks.[21]

Kuigi impulsstoiteseadme skeem on küllaltki keerukas ja komponentide rohke, siis võrreldes lineaarse toiteallikaga on tal mitmeid eeliseid. Lineaarsed toiteploki on üldjuhul suuremad, raskemad ja kallimad, kuna tuleb kasutada suurt pinge alandus transformaatorit. Impulsstoiteseadmes on võimalik tänu kõrgele voolusagedusele kasutada väiksemat transformaatorit. Samas tekitab kõrgsagedusliku voolu kasutamine ka kõrgsagedusliku müra ja elektromagnetilist induksiooni. Selle nähtuse vastu tuleb tihti kasutada nii sisendis kui väljundis müra filtreid, mis vähendavad teatud sagedusvahemikuga pinge komponenti.

Käesolevas lõputöös uurime toiteseadmete poolt konkreetsetesse sagedusvahemikku tekitatud müra. Uuritavat 3-150kHz sagedusala reguleerib Euroopas Cenelec standard. Samas võib eeldada, et müra genereerivad antud seadmed ka kõrgematele sagedustele. Sagedusala 0.15 MHz kuni 30 MHz on reguleeritud standardi CISPR 22: EN 55022 EMC poolt.[22]

Ka uuritavad toiteseadmed peavad Euroopas müügiloa saamiseks nendel standarditele vastama. Uurimusest selgub, et uuritavad rikkega toiteploki enam Cenelec standardile ei vasta ning neid ei tohiks võrku lülitada.

Järgnevalt uurime lähemalt nelja impulsstoiteploki, mis on võrgumüra põhjustajatena Enefit Connecti töötajate poolt klientide kodudest leitud ning võrgust eemaldatud. Esmalt uurime genereeritavat võrgumüra sagedusvahemikus 3-150kHz koormuseta ja koormusega olukorras. Püüame leida rikke põhjuse, miks seadmed võrgumüra põhjustavad. Vahetame rikked komponente. Lisaks uurime ka toiteploki väljundi poolt, et näha kas rikke tõttu võrgumüra põhjustava toiteseadme väljundi poolel samuti anomaaliaid leidub.

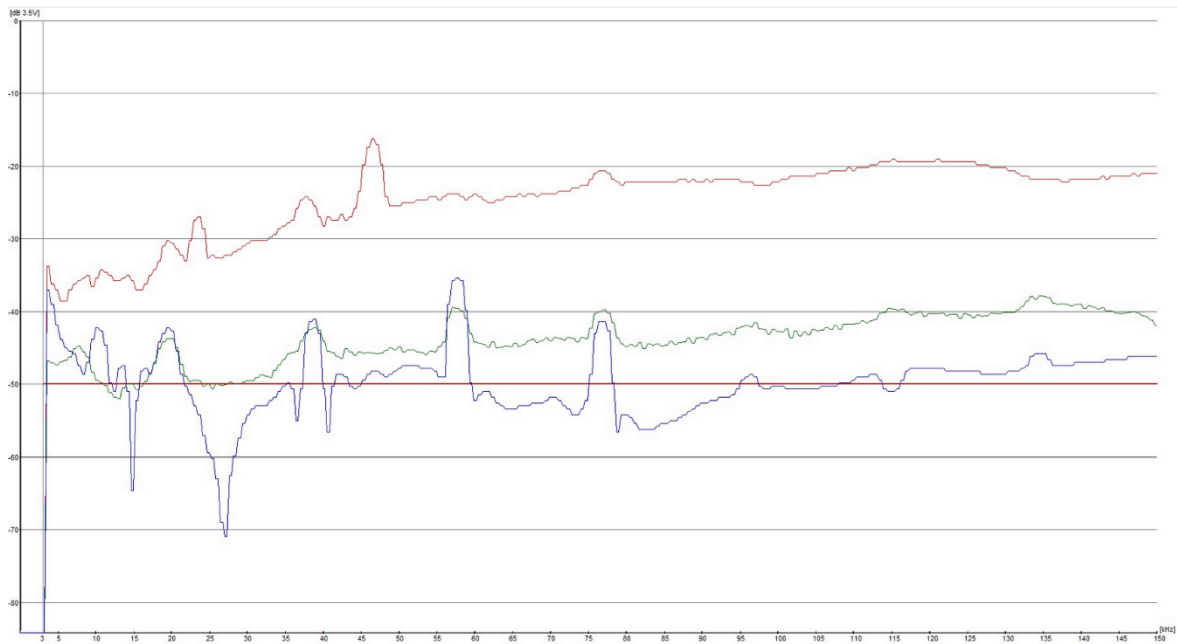
4.1. OEM mudel ADS 18-1B-220082

Tegemist on impulss-toiteploki, mille sisend on 100-240V 50-60Hz koormusega 0,5A ning väljund on 22V alalispinge nimikoormusega 0,818A. Joonisel 13 on toodud toiteploki pilt.

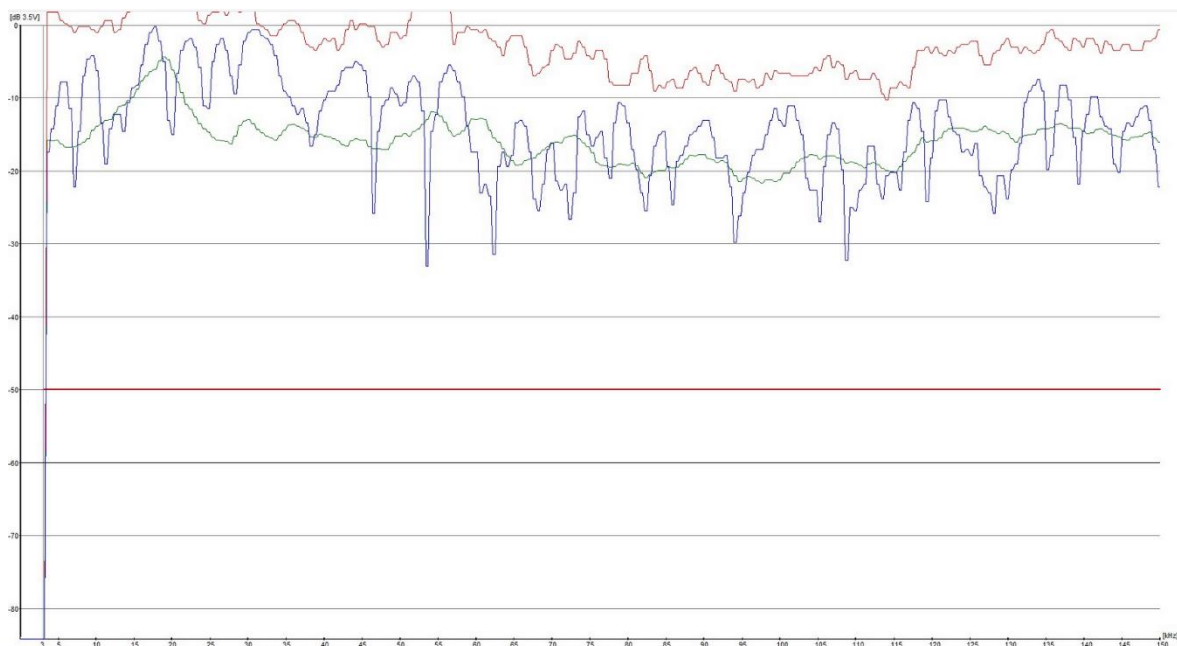


Joonis 13. Toiteplokk OEM ADS 18-1B-220082

Uurimise käigus toimus võrgumüra mõõtmine esmalt sisendi poolel koormuseta ja koormusega olukorras. Joonisel 14 on toodud võrgumüra graafik olukorras, kus toiteplokk on võrku ühendatud kuid väljundis ei ole koormust. Joonisel 15 on toiteploki väljundi otste vahele lisatud koormustakisti R_{kt} . Koormustakistuse suuruse leidmiseks on kasutatud oomi seadust $R = \frac{U}{I}$. $R_{kt} = \frac{22}{0,818} = 26,9\Omega$. Kuna oluline ei olnud koormata toiteploki täiskoormusel, siis sai valitud takistid 22Ω ja 10Ω , mis ühendati jadamisi toiteploki väljund otsade vahele. Kogutakistuseks sai 32Ω , mis nimi pingel annab koormuseks $I = \frac{22}{32} = 0,69A$. See on antud katseks piisavalt väljundi nimivoolu lähedane koormus.



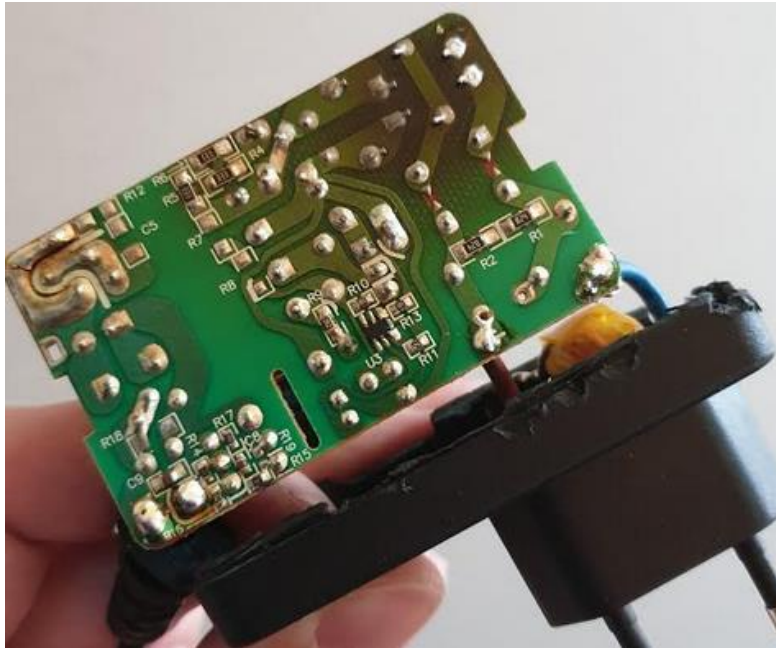
Joonis 14. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormuseta OEM toiteplokk



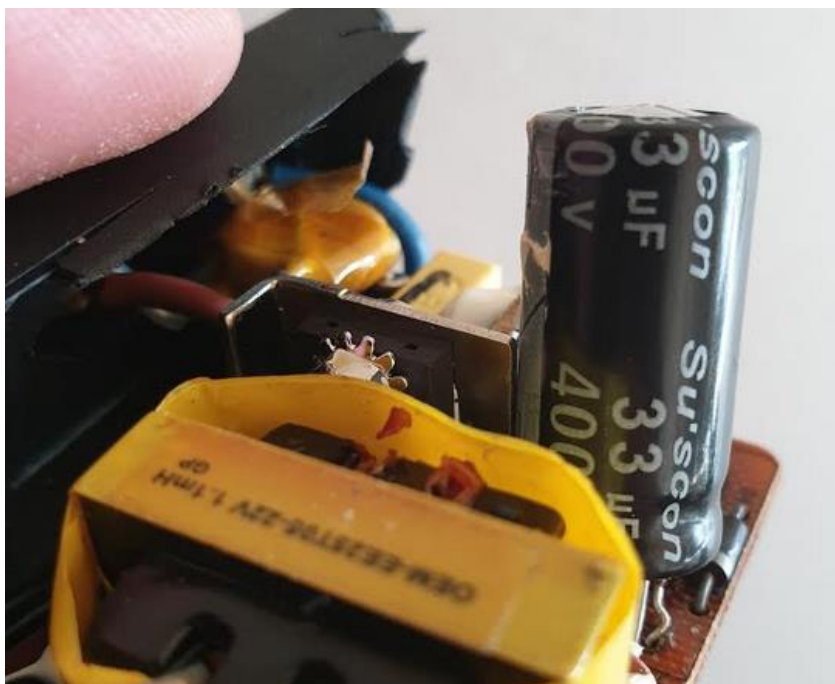
Joonis 15. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormusega OEM toiteplokk

Joonistelt 14 ja 15 on näha, et uuritav toiteplokk tekitab märkimisväärset võrgu müra kogu uuritavas sagedus vahemikus (3-150kHz). Samas on näha, et toiteploki koormates kasvab müra kogu uuritavas vahemikus hüppeliselt. Elektrilevi arvestite poolt kasutatavas sagedusvahemikus (63,3-74kHz) on müra keskväärtus koormuseta olukorras -45dB3,5V ning koormatud olukorras -27dB3,5V. Mõlemal juhul ei oleks läheduses asuva elektriarvesti signaal mürast eristatav ning arvestiga ühendus puuduks.

Järgnevalt sai võetud toiteplokk lahti ning uuritud, mis võis põhjustada rikke. Joonisel 16 ja 17 on näha visuaalsel vaatlusel tuvastatavad vead.



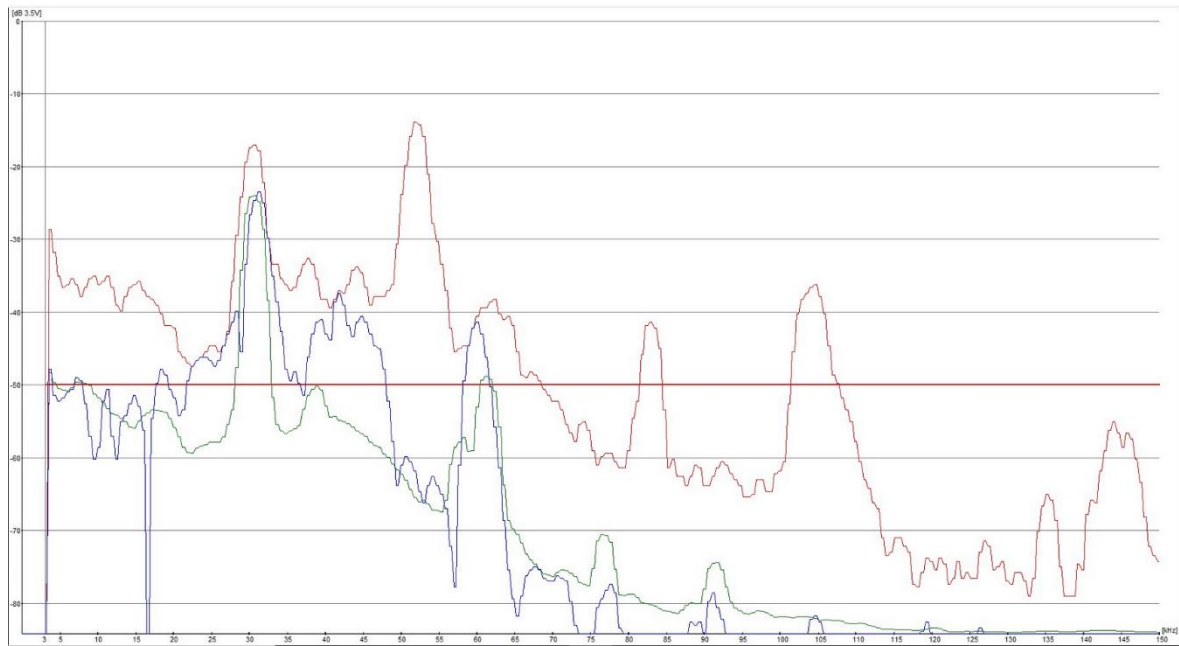
Joonis 16. Lahti võetud toiteplokk OEM



Joonis 17. Toiteploki OEM silukondensaator

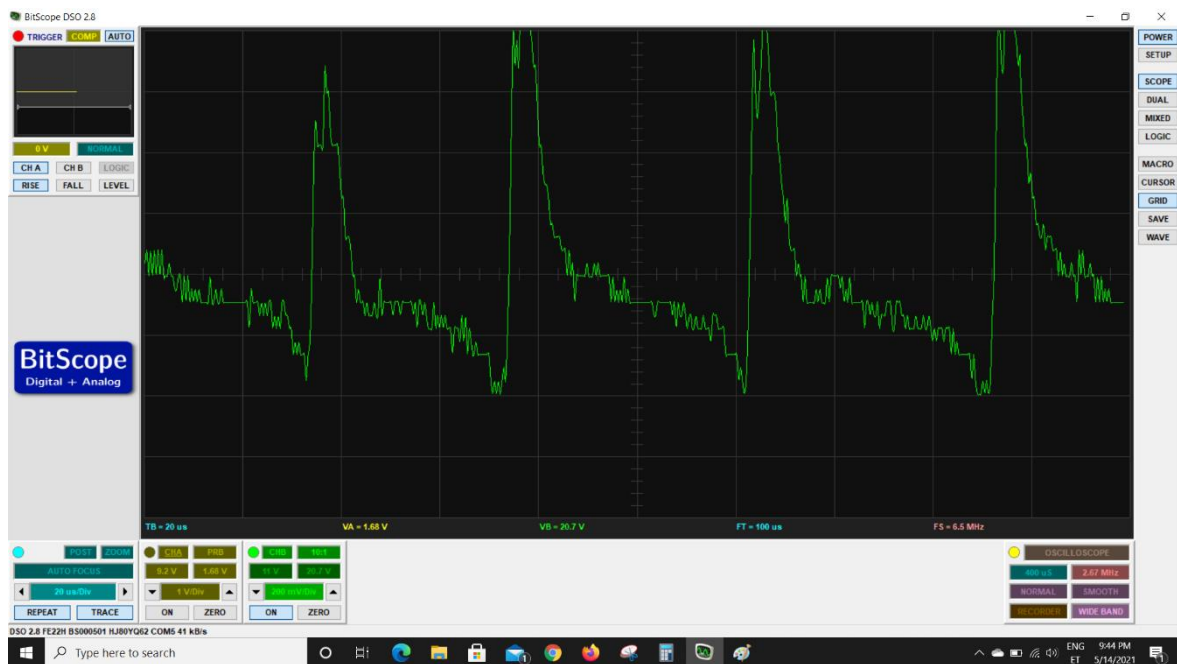
Joonisel 16 on näha et toiteploki rohelise plaadi serv on temperatuuri toimet tumedaks muutunud. Samas nurgas paikneb ka silukondensaator, mille pealmine osa on visuaalsel vaatlusel kummis, seda on näha joonisel 17. Tegemist on elektrolüüt-kondensaatoriga, mis

paikneb peale alaldit. Alaldi muudab vahelduvvoolu alalisvooluks ning antud kondensaatori ülesanne on seda muundatud alalisvoolu pinget kõikumist vähendada. Kondensaatori andmed on $33\mu\text{F}$ ja talub pinget 400V . Kondensaatori eemaldamisel ning seejärel mõõtmisel saame tulemuseks sisuliselt 0F . Seega on antud kondensaator rikkega ning see tuleb välja vahetada. Vahetame kondensaatori vastu, mille andmed on $33\mu\text{F}$ ja talub pinget 450V . Joonisel 18 on näha võrgumüra graafik, kui võrku on ühendatud vahetatud kondensaatoriga toiteplokk, mis on koormatud sarnaselt joonisel 15 oleva katse graafikuga.

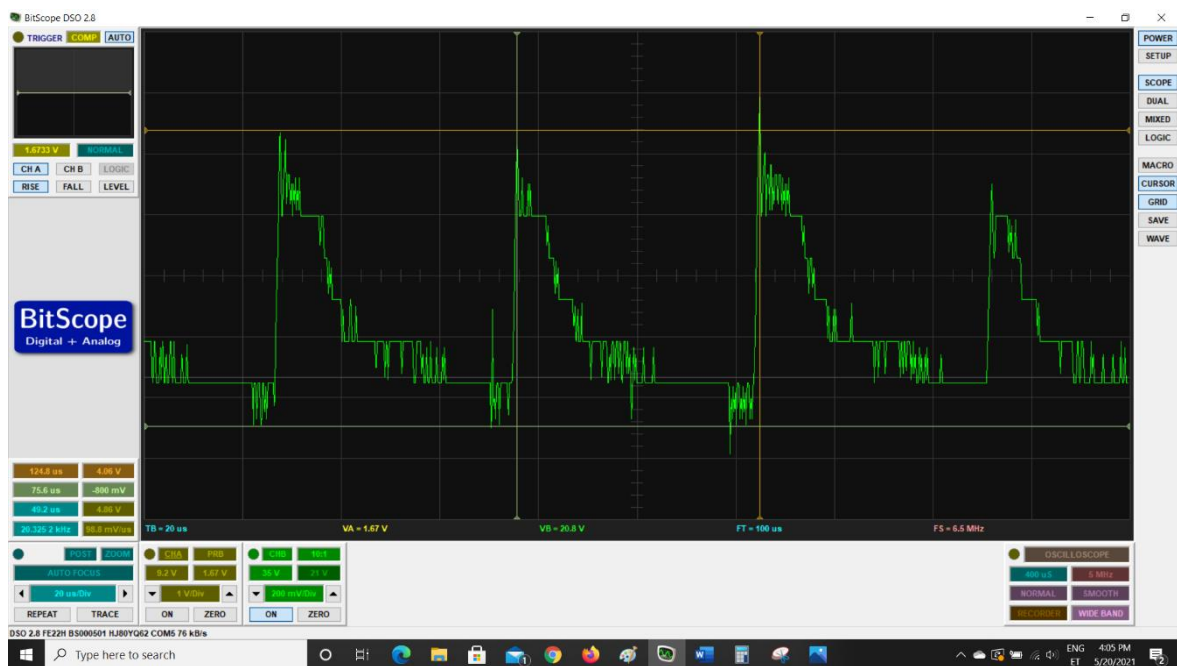


Joonis 18. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormusega OEM toiteplokk vahetatud kondensaatoriga

Võrreldes joonist 15 ja 18 on näha, et kondensaatori vahetamine vähendas oluliselt toiteploki poolt võrku genereeritavat müra. Kuna silukondensaator on oluline komponent toiteploki töös, siis sai uuritud ka toiteploki väljundit. Joonisel 19 on näha toiteploki väljund enne kondensaatori vahetust ning 20 on näha väljundpinge peale kondensaatori vahetust. Mõlemal juhul on väljund mõõdetud ajal kui toiteplokk on koormuse all.



Joonis 19. Toiteploki OEM väljund pinge enne kondensaatori vahetus



Joonis 20. Toiteploki OEM väljund pinge peale kondensaatori vahetus

Joonistelt 19 ja 20 on näha, et toiteploki väljundpinges koormuse all toimub pinge kõikumine sagedusega 20kHz ca 1V ulatuses. Mõõdetud pinge enne kondensaatori vahetust oli 20,7V ja peale vahetust 20,8V. Pinge kõikumine enne vahetust toimus ca 1,4 V ulatuses ning peale vahetust 1V ulatuses. Antud toiteploki jääd kahtlus, et lisaks antud kondensaatori veale võis olla toiteploki veel vigu, kuna toiteplokk tegi koormuse all suhteliselt palju häält ning

mõõdetud väljundpinge kõikumine oli ka peale kondensaatori vahetust suur. Samas kondensaatori vahetus kaotas võrku genereeritava müra peaaegu täielikult.

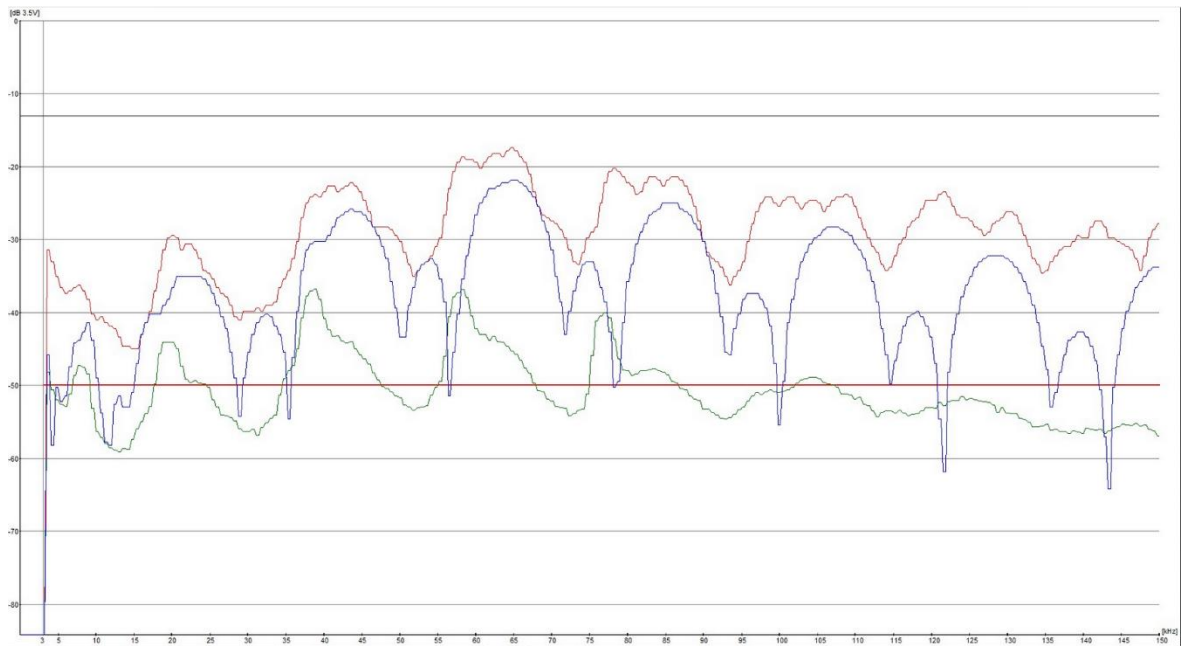
4.2. Motorola NU12-6120100-I3

Tegemist on impulss-toiteploki, mille sisend on 100-240V 50-60Hz koormusega 0,6A ning väljund on 12V alalispinge nimikoormusega 1A. Joonisel 21 on toodud toiteploki pilt.

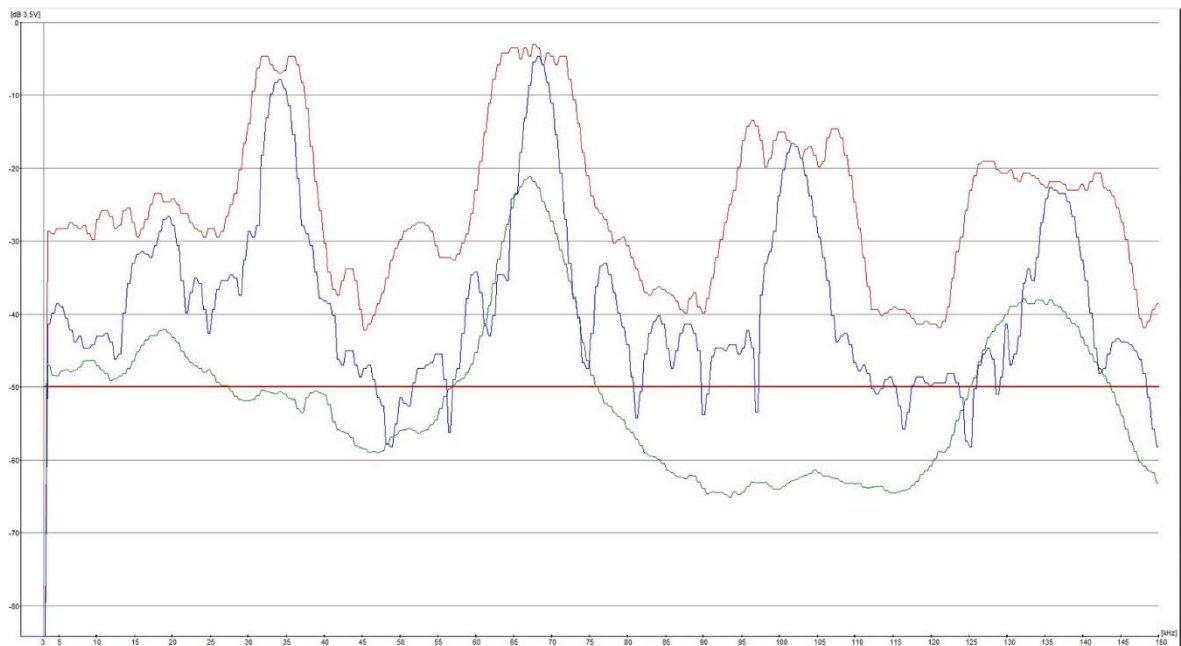


Joonis 21. Motorola NU12-6120100-I3

Esmalt sai taas mõõdetud toiteploki poolt võrku genereeritud müra koormuseta ja koormuseta olukorras. Koormus sai arvutatud nii nagu eelmises peatükis ning väljund otse vahele sai takistus suurusega $12,2\Omega$ (10Ω ja $2,2\Omega$ jada ühenduses). See annab pingel 12 V voolu suuruseks 0,98A, mis on antud katseteks piisavalt täpne. Joonisel 22 on koormuseta olukord ning joonisel 23 on koormusega olukord.



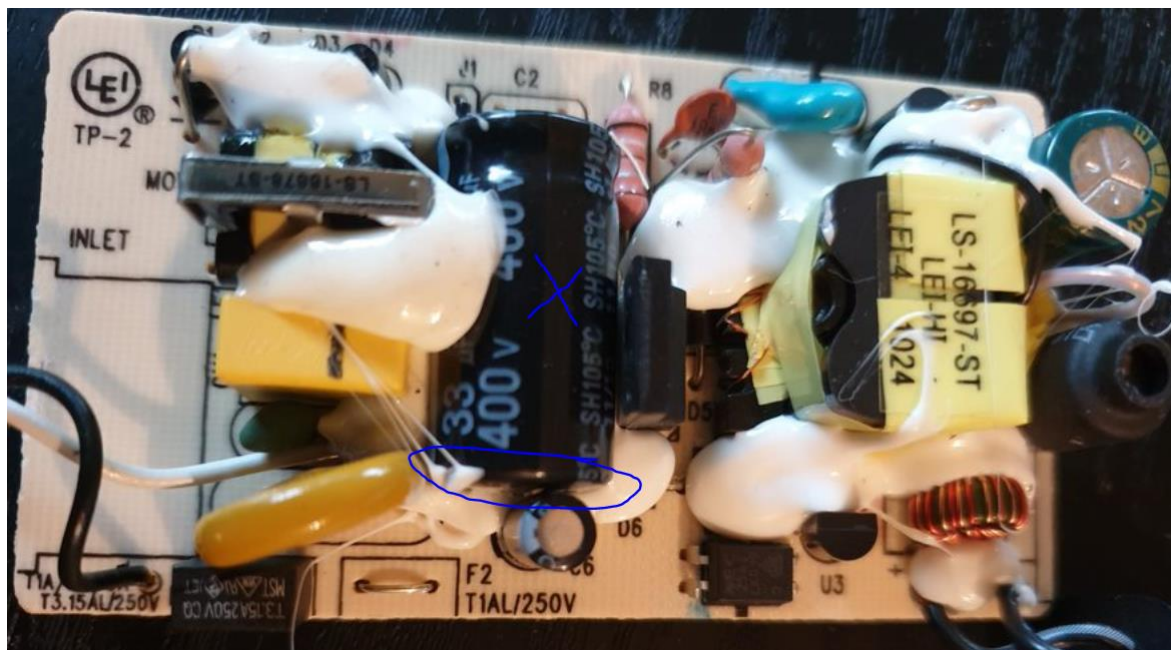
Joonis 22. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormuseta Motorola toiteplokk



Joonis 23. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormusega Motorola toiteplokk

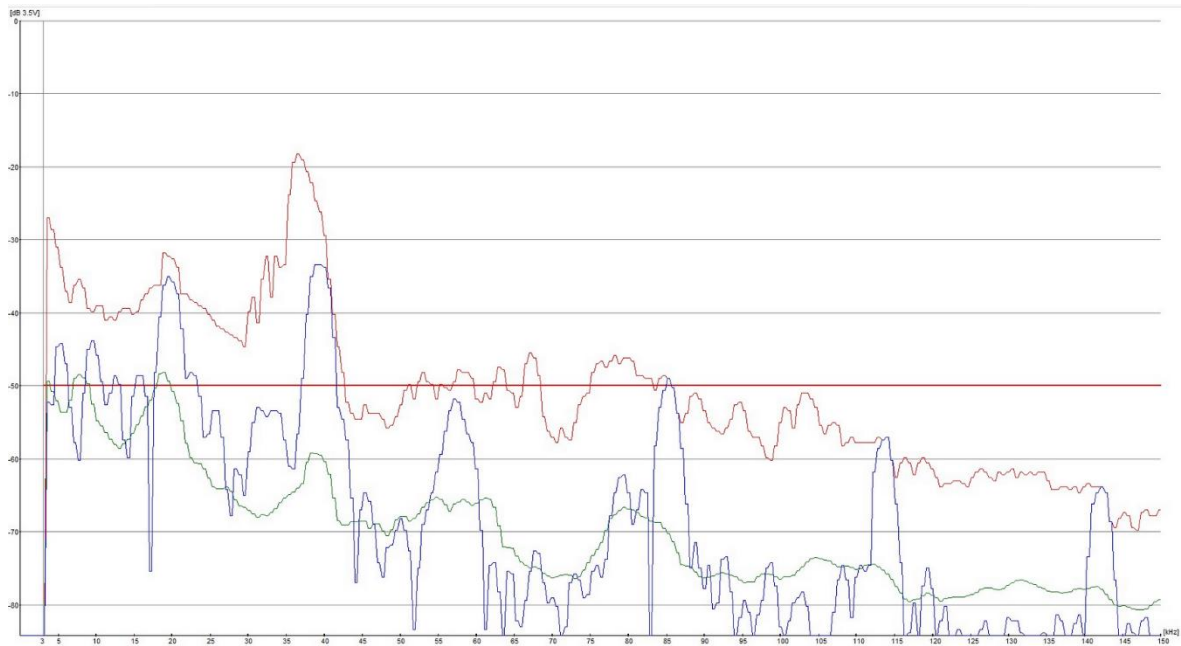
Joonistelt 22 ja 23 on näha, et seade genereerib võrku piisavalt müra, et segada elektriliinsidet kogu uuritud vahemikus. Koormatud seade tekitab võrku sarnaselt palju müra, kui koormuseta olukorras, kuid osades sagedusvahemikes tekitab koormatud seade eriti palju müra. Eriti palju müra tekitab koormatud seade sagedusel 60-75HZ. Täpselt selles sagedusvahemikus suhtlevad ka elektrilevi PLC arvestid.

Joonisel 24 on näha uuritava toiteploki sisukomponendid.

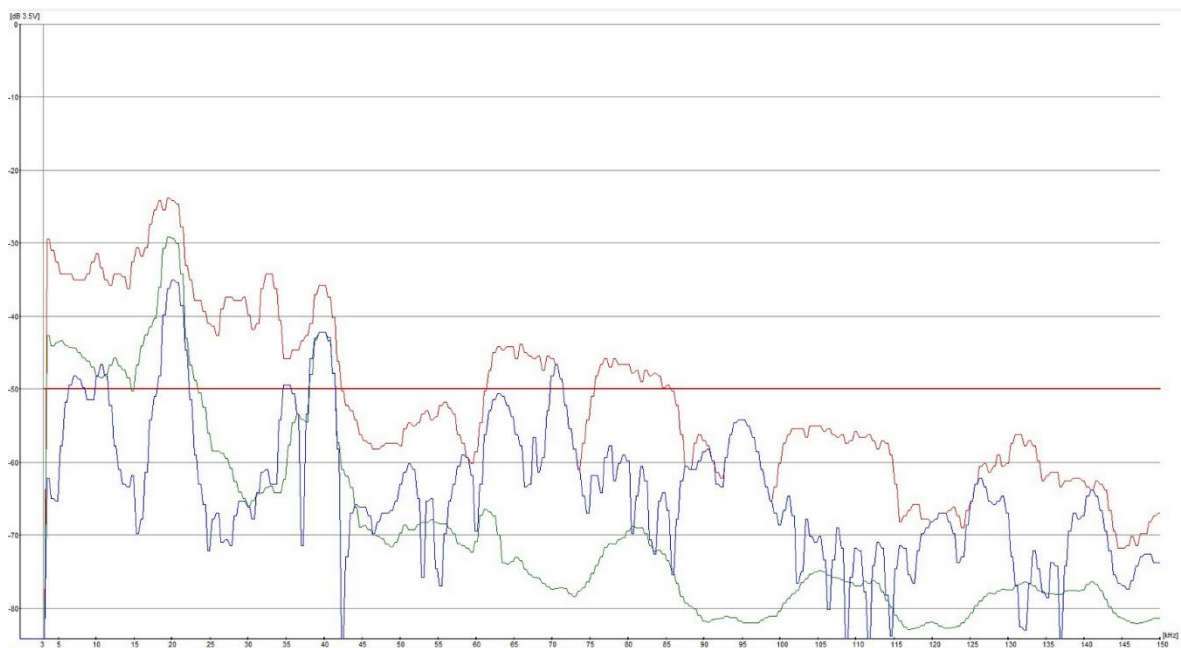


Joonis 24. Uuritava Motorola toiteploki sisemus

Joonisel 24 on näha Motorola toiteploki sisemus, lisaks on joonisel 24 sinise x-ga ära toodud rikkes kondensaator ning ringiga on toodud visuaalsel vaatlusel silma jäänud paisunud kondensaatori ülemine osa. Kondensaatori andmed on 33µF ja talub pinget 400V. Kondensaatori eemaldamisel kondensaatori jalg tuli ära ning kahjuks ei olnud mahtuvust võimalik mõõta. Kuna oli tugev kahtlus antud kondensaatori rikkele, siis vahetati kondensaator. Uue kondensaatori andmed on 33 µF ja talub pinget 450V. Järgnevalt mõõdeti võrgumüra katsekohase lülitades võrku vahetatud kondensaatoriga uuritava Motorola toiteploki. Joonisel 25 on katse koormuseta olukorras ning joonisel 26 on toiteplokk koormatud.



Joonis 25. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormuseta vahetatud kondensaatoriga Motorola toiteplokk



Joonis 26. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormatud vahetatud kondensaatoriga Motorola toiteplokk.

Joonistelt 25 ja 26 on näha, et nii koormusega kui ka koormuseta olukorras, ei tekita uuritav toiteplokk enam arvestatavat võrgumüra. Järgnevalt uuriti toiteploki väljundi poolt. Joonisel 27 on toodud koormatud toiteploki väljundpinge graafik ning joonisel 28 on sama katse, kuid vahetatud kondensaatoritega toiteplokk.

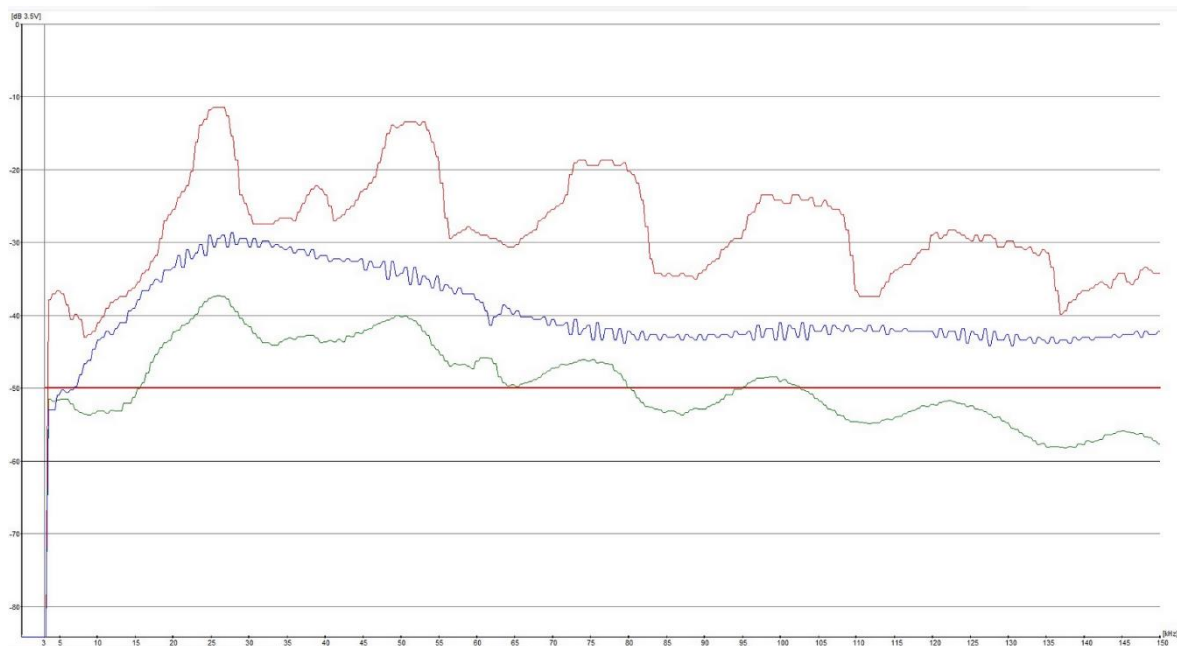
4.3. CGSW-12005000

Järgmise uuritava toiteploki sisend on 100-240V 50-60Hz koormusega 2,5A ning väljund on 12V alalispinge nimikoormusega 5A. Joonisel 29 on toodud toiteploki pilt.

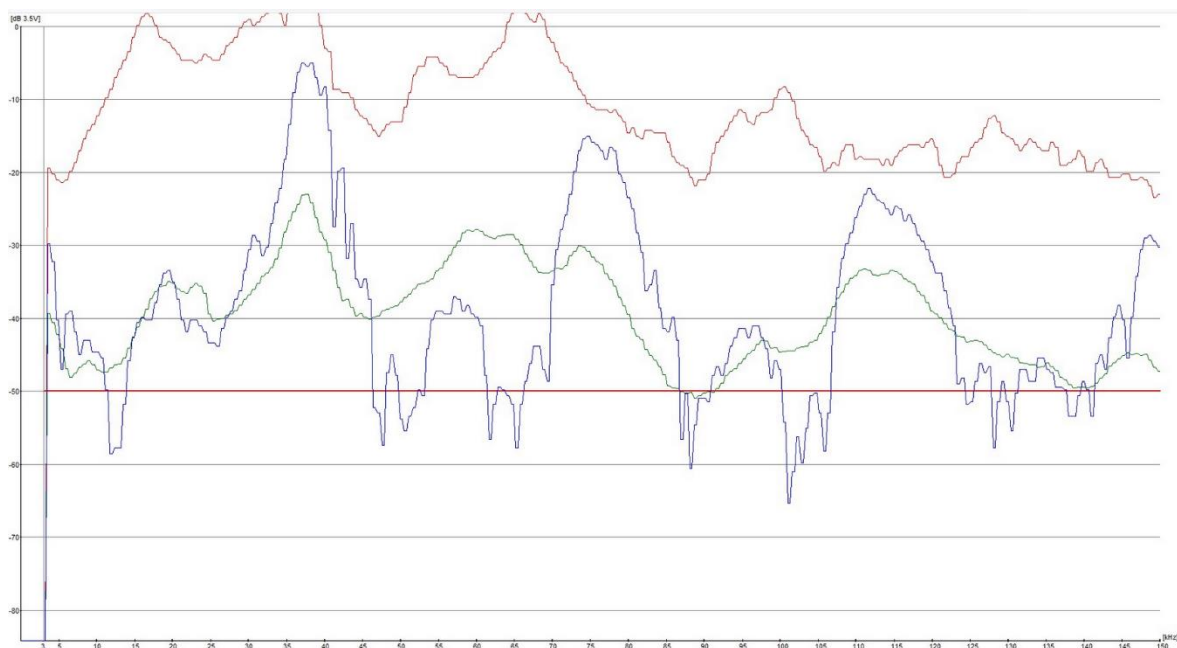


Joonis 29. Toiteplokk CGSW-12005000

Kõigepealt teostati võrgumüra mõõtmised katsekohas, kui võrku on lülitatud esimesel juhul koormuseta uuritav toiteplokk, selle katse võrgumüra graafik on toodud joonisel 30. Teisel juhul, mis on näha joonisel 31 on võrku lülitatud koormusega toiteplokk. Minimaalne takisti suurus on arvutatud kasutades oomi seadust. $R = \frac{U}{I}$, $R_t = \frac{12}{5} = 2,4\Omega$. Antud takistist väiksemaks minna ei saa, kuna vastasel juhul ületame toiteploki lubatud voolu suurust 5A. Takistuseks sai valitud $5,4\Omega$. Takistus on valitud minimaalsest lubatust küllaltki palju suurem, kuna kasutades takistust $2,4\Omega$ siis peab antud takisti kannatama võimsust $P = U \times I = 12 \times 5 = 60W$. Katses kasutatavad takistid kannatavad võimsust 20W ning katse hetkel ei olnud saada takisteid, millega jagada võimsus soovitud kujul. Kasutades takistust $5,4\Omega$ saadi voolu tugevuseks nimipingel $I = \frac{U}{R} = \frac{12}{5,4} = 2,22A$. Võimsuseks saadi sellisel juhul $P = 2,22 \times 12 = 26,6W$. See võimsuse oli võimalik jagada kahele takistusele ning katse saadi läbi viia.



Joonis 30. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormuseta uuritav toiteplokk



Joonis 31. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormusega uuritav toiteplokk

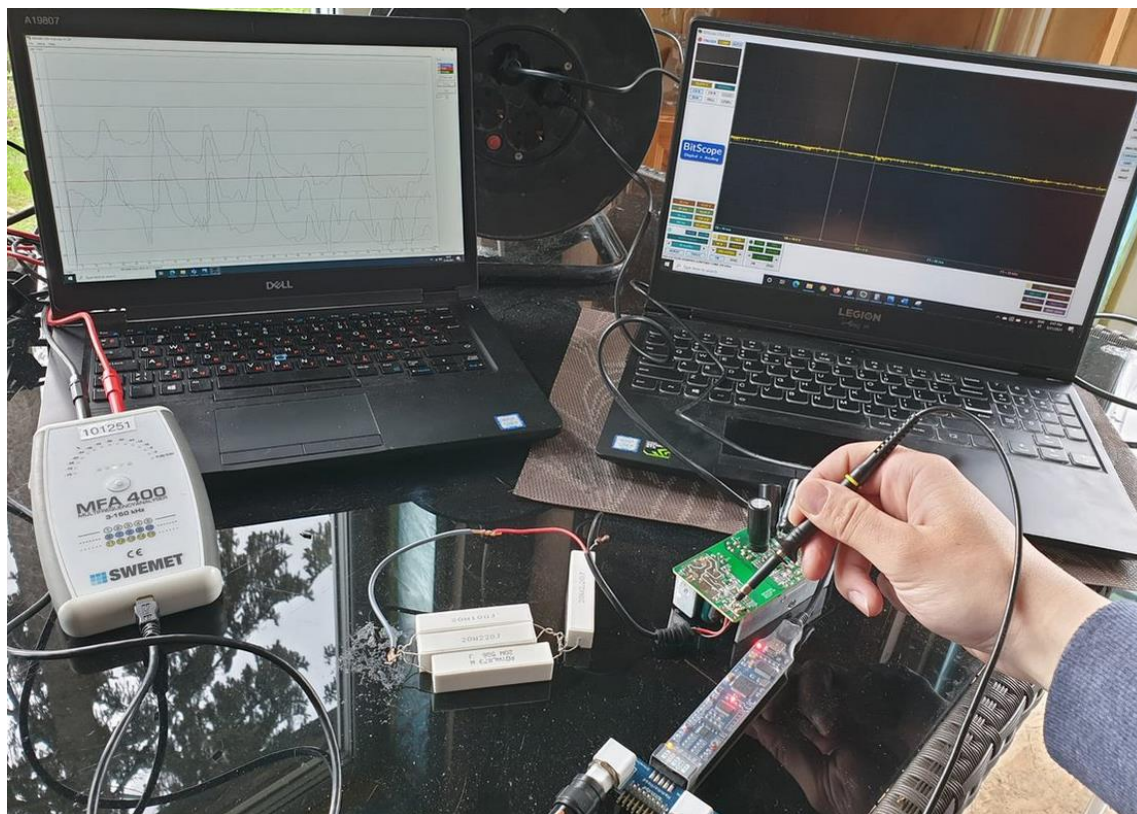
Joonistelt 30 ja 31 on näha, et mõlemal juhul genereeritakse võrgu uuritavasse sagedusalasse müra. Koormatud toiteploki korral on müra tugev ning segab oluliselt antud sagedusvahemikus ELS toimimist.

Järgnevalt avati toiteplokk ning püüti tuvastada müra põhjust. Joonisel 32 on näha uuritava toiteploki sisukomponendid.



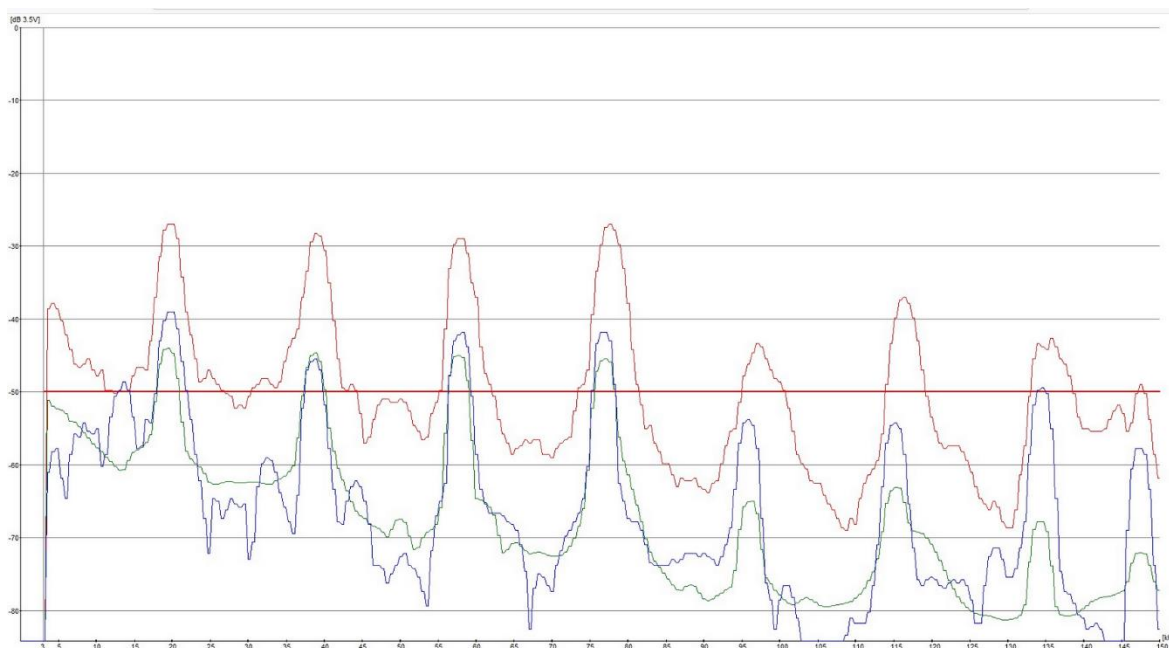
Joonis 32. Uuritava toiteploki sisukomponendid

Joonisel 32 on näha järjekordselt, et silukondensaatori pealmine osa on paisunud. See on näidatud joonisel 32 sinise ringiga. Vahetati välja sinise X-ga märgitud kondensaatori. Kondensaator on mahtuvusega $82\mu\text{F}$ ja kannatab pinget 400V . Kuna täpselt samade andmetega kondensaatorit ei olnud katsete toimumise ajal saada, siis sai kasutatud kolme kondensaatorit mahtuvusega $33\mu\text{F}$, mis said ühendatud rööbiti. Kondensaatorite ühendamisel rööbiti nende mahtuvused liituvad ning selliselt ühendades tuleb arvutatud mahtuvuseks $99\mu\text{F}$. Mahtuvust mõõtes tuli tulemuseks $91\mu\text{F}$. Antud katseks on see piisavalt lähedane originaal kondensaatori mahtuvusele. Joonisel 33 on näha katse koormuse all oleva toiteploki, millel on rikkega kondensaator vahetatud. Näha on uuritava toiteploki sisu, koormuseks olevad takistid, müra mõõtmise sisendist ja väljundi mõõtmine



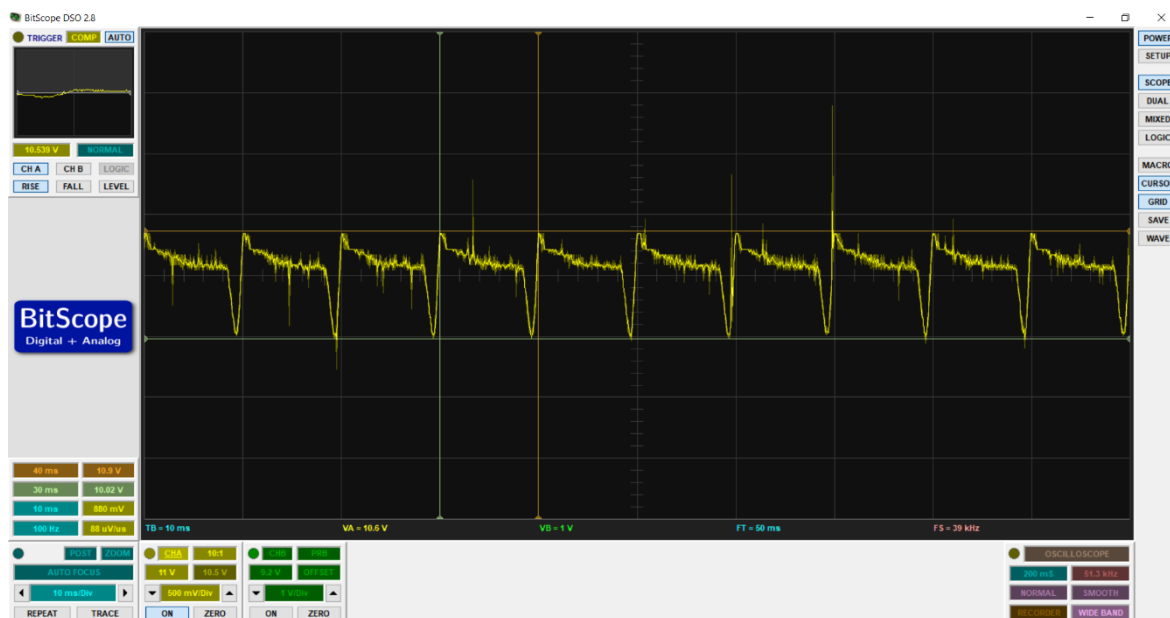
Joonis 33. Katse parandatud uuritava toiteploki

Järgnevalt on toodud joonisel 34 toimuva katse väljundist mõõdetud võrgumüra mõõtetulemused.

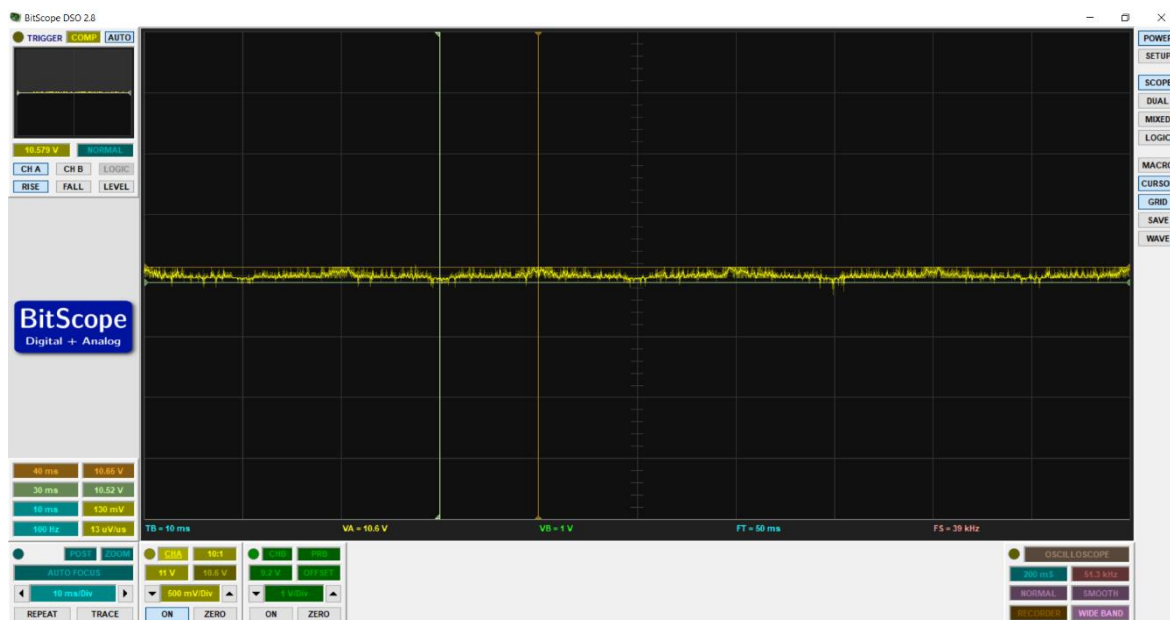


Joonis 34. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormuseta uuritav toiteplokk vahetatud kondensaatoriga.

Võrreldes joonist 34 joonisega 31 on näha, et kondensaatori vahetus on võrgumüra oluliselt vähendanud. Viimaseks on toodud toiteploki väljundi mõõtetulemused. Joonisel 35 on toodud väljundi mõõtetulemused parandamata toiteploki koormatud olekus. Joonisel 36 on sama katse parandatud toiteploki.



Joonis 35. Parandamata toiteploki väljundist mõõdetud pinge koormatud olukorras



Joonis 36. Parandatud toiteploki väljundist mõõdetud pinge koormatud olukorras

Jooniste 35 ja 36 võrdlemisel on näha, et väljundis on pinge kõikumine oluliselt vähenenud. Väljundpinge keskväärtus mõlemal juhul on sama 10,6V. Joonisel 35 toimub pinge kõikumine sagedusega 100Hz ning amplituudiga 880mV. Katsetest võib taas järeldada, et

müra põhjustav rikkega impulss-toiteplokk võib põhjustada probleeme ka toidetavale seadmele. Rikkega silukondensaator põhjustab lisaks võrgumürale ka olulist pinget kõikumist toiteploki väljundpoolel.

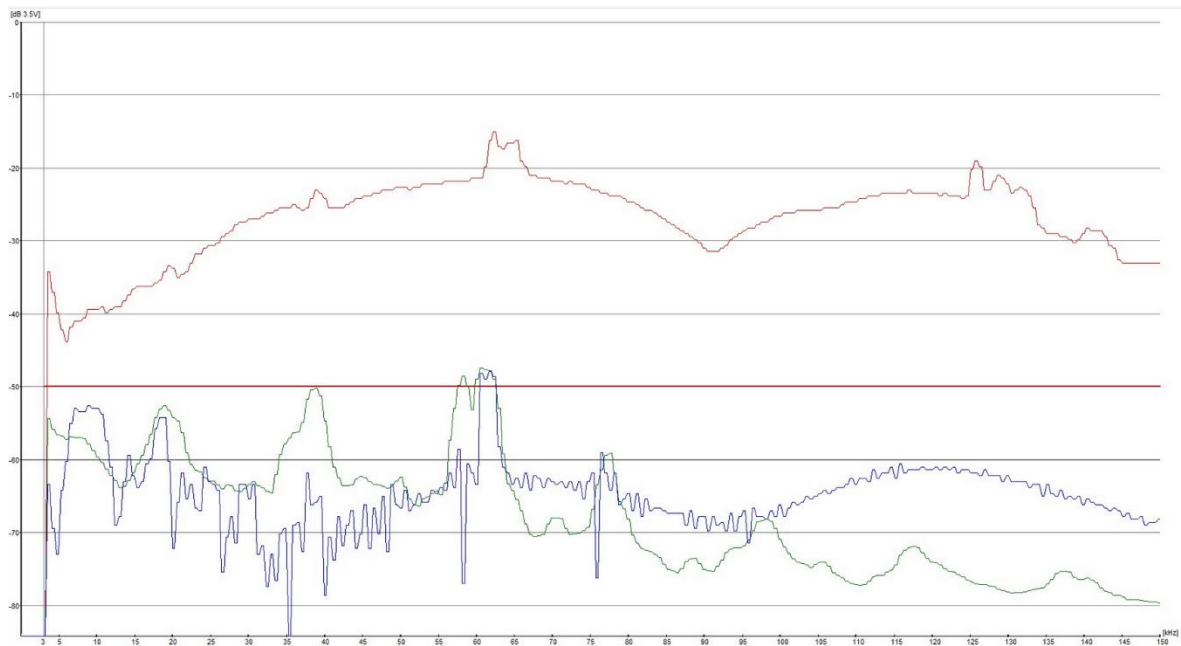
4.4. Nimetu 5v1A toiteplokk

Viimaseks uuriti toiteploki mille korpusel ei ole kirjas mudelit ega nime, olemas on CE märkis. Tegemist on toiteploki, mille sisendiks on märgitud 85-265VAC 0,2S 50-60Hz. Väljundiks on 5V 1A alalisvool. Joonisel 37 on uuritava toiteplokk.

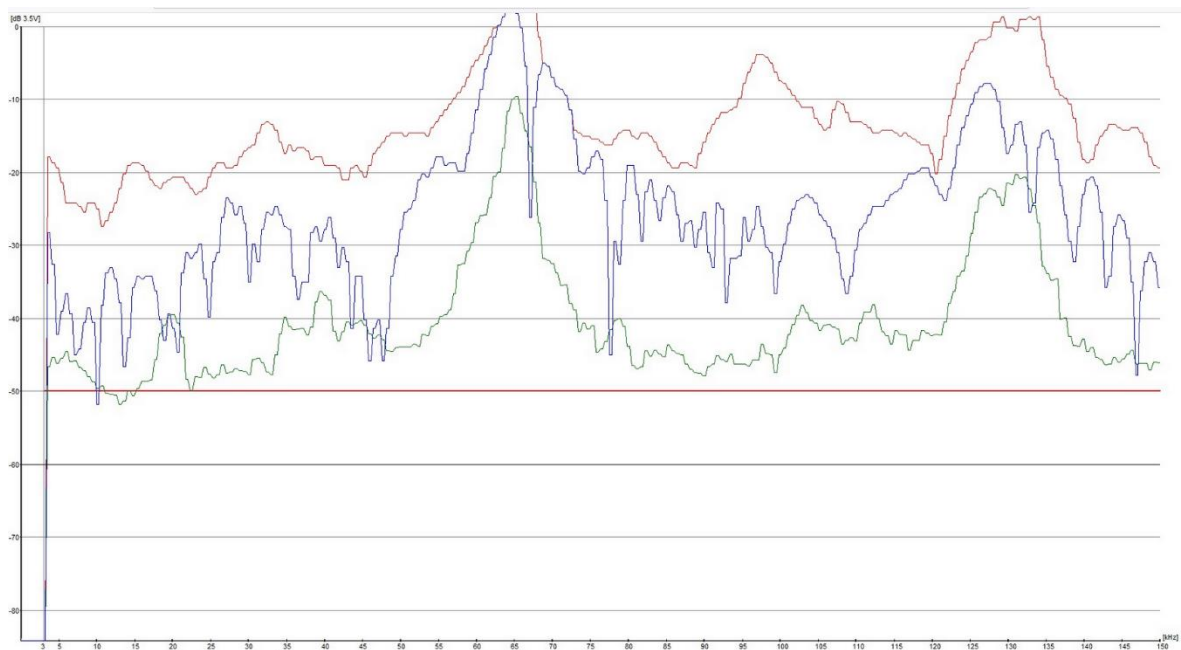


Joonis 37. Uuritav toiteplokk

Esmalt mõõdame uuritava toiteploki poolt põhjustava müra katsekohas koormuseta ja koormatud olekus. Koormuseks on $5,6\Omega$ takisti. See annab koormatud olekus volutugevuseks nimipingel(5V) 0,89A ning võimsuseks 4,5W. Võrgumüra katsekohas on toodud joonistel 38 ja 39.



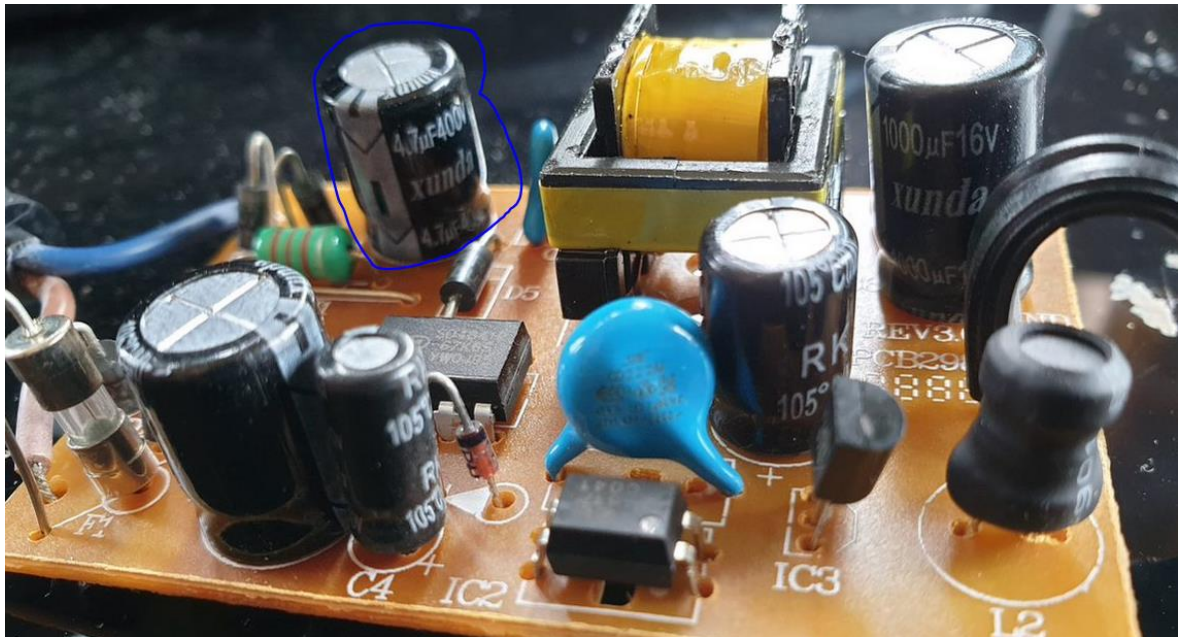
Joonis 38. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormuseta uuritav toiteplokk



Joonis 39. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on lülitatud koormusega uuritav toiteplokk

Joonistelt 38 ja 39 on näha, et antud toiteplokk põhjustab tugevat müra just koormatud olukorras. Koormuseta olukorras on müra piik väärtused küll kõrged, kuid keskmine väärtus suhteliselt madal ning suure tõenäosusega ELS-ile probleeme ei valmista.

Järgmiseks avati toiteplokk ning uuriti, mis konkreetselt antud toiteploki võrgumüra tekitab. Joonisel 40 on näha uuritava toiteploki sisekomponendid.



Joonis 40. Uuritava toiteploki sisekomponendid

Joonisel 40 on sinise ringiga näidatud rikkes kondensaator. Rike ei olnud esmalt visuaalselt tuvastatav. Kuna eelnevate toiteplokkide uurimisel oli müra põhjustajaks sisend osa silu-kondensaator, siis vea tuvastamiseks sai lahti võetud kaks silu-kondensaatorit. Üks kondensaator oli korras ning näitas mõõtmisel nimimahtuvusele ($4,7\mu\text{F}$) lähedast suurust. Teise kondensaatori eemaldamisel oli visuaalselt näha kondensaatori pluss jala juures leke. Mõõtmine näitas mahtuvuseks $1,5\text{ nF}$ mis on kordades väiksem nimimahtuvusest ($4,7\mu\text{F}$). Joonisel 41 on näha rikkes kondensaator.



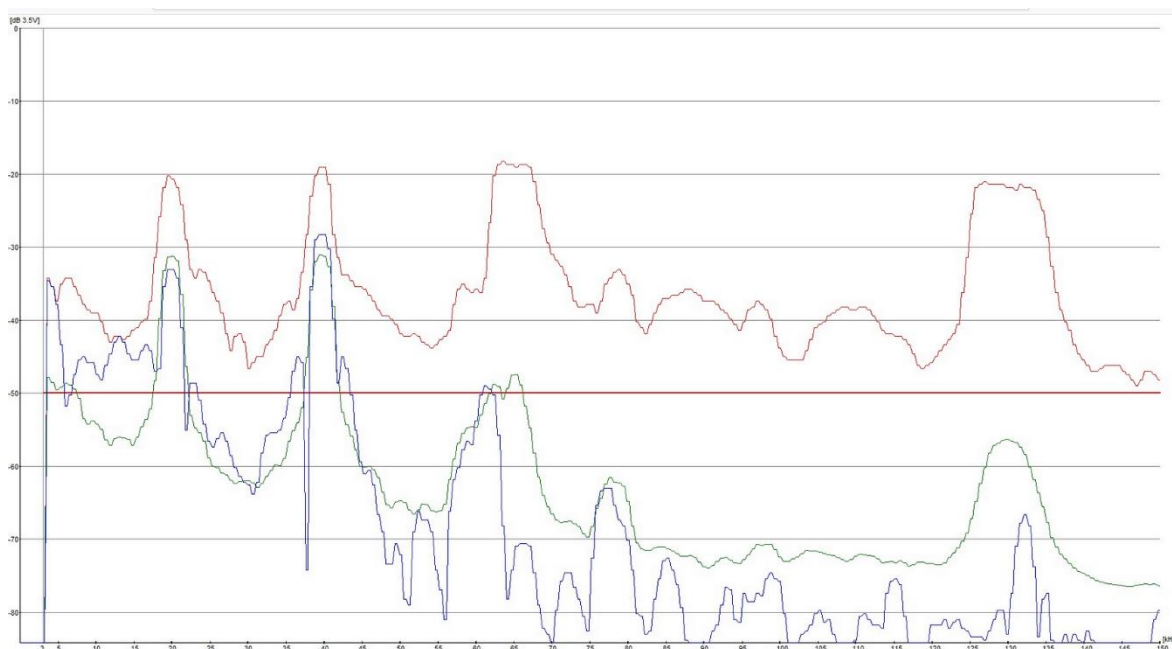
Joonis 41. Uuritava toiteploki rikkega kondensaator

Joonisel 41 kujutatud kondensaator sai asendatud kondensaatoriga mille mahtuvus oli $4,7\mu\text{F}$ ja talutav pinge 450V. Joonisel 42 on näha vahetatud kondensaatoriga uuritava toiteploki sisu.



Joonis 42. Uuritava toiteploki sisu vahetatud kondensaatoriga.

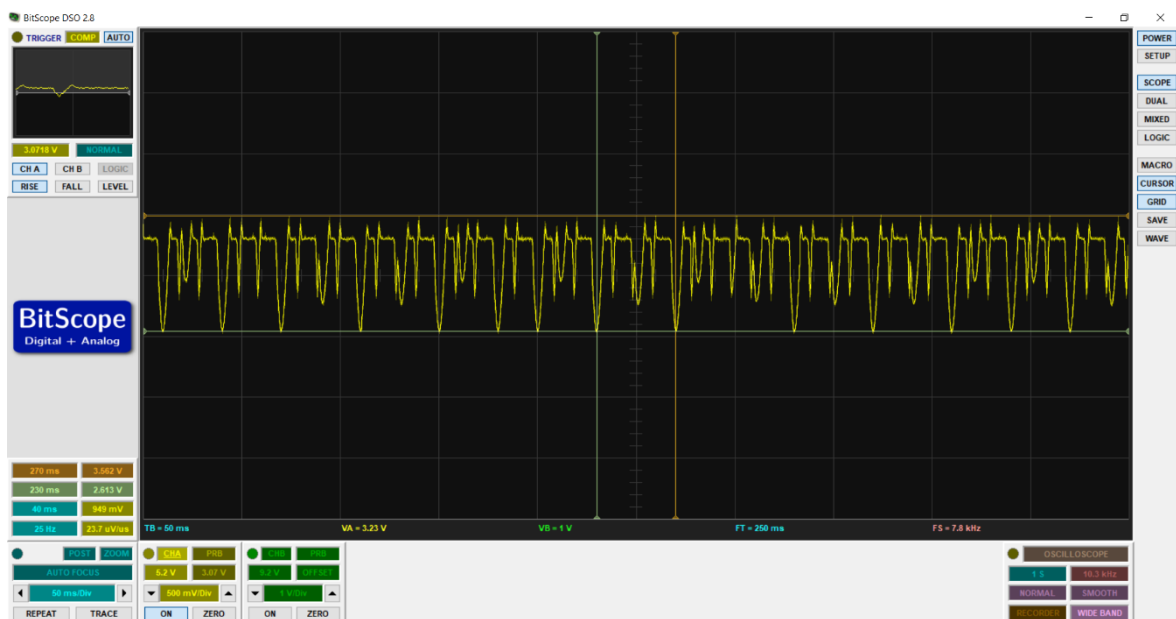
Peale kondensaatori vahetust sai teostatud uued võrgumüra mõõtmised katsekohas, kui võrku oli lülitatud koormuse all uuritav toiteplokk vahetatud kondensaatoriga. Joonisel 43 on näha antud katse mõõtetulemus.



Joonis 43. Võrgumüra katsekohas, kui võrku on koormuse alla lülitatud uuritav toiteplokk vahetatud kondensaatoriga.

Jooniselt 43 on näha, et uuritava toiteploki poolt võrku genereeritav müra on peale kondensaatori vahetust oluliselt langenud. Peale kondensaatori vahetust antud toiteplokk enam ELS-ile probleeme ei tohiks valmistada.

Antud toiteploki uurimise viimases osas uuriti ka toiteploki väljundit enne ja pärast kondensaatori vahetust. Joonisel 44 ja 45 on toodud uuritava toiteploki väljund pinge.



Joonis 44. Uuritava toiteploki väljundpinge koormuse all enne kondensaatori vahetust



Joonis 45. Uuritava toiteploki väljundpinge koormuse all peale kondensaatori vahetust

Jooniseid 44 ja 45 võrdlemisel on näha, et peale kondensaatori vahetust vähenes lisaks võrgumüra genereerimisele oluliselt ka väljundpinge kõikumine. Lisaks tõusis väljundpinge peale kondensaatori vahetust 3,23V-lt 3,37 V-le. Enne kondensaatori vahetust toimus väljundpinge kõikumine sagedusega 100Hz ca 950mV ulatuses. Peale vahetust kõigest 100mV ulatuses.

4.5 Järeldused katsetele toiteplokkidega

Katsetest võib näha, et üks rikkis toiteseadet võib põhjustada ELS sides kasutatavast signaalist oluliselt tugevamat müra. Selgus ka see, et võrku genereeritav müra oli enamikel juhtudel märkimisväärselt suurem koormuse all. Veel võib huvitava asjaoluna välja tuua, et antud seadmed olid klientide juurest võrkulülitatuna otsitud ja võrgust eemaldatud Elektrilevi võrku haldavate töötajate poolt. See fakt on huvitav, sest osadel juhtudel oli toiteplokk osaliselt kuuma kahjustusega ning tegid ebaharilikult valju häält. Seega teatud juhtudel on võrku lülitatud ELS sidet häiriv rikkega toiteseadet tuleohtlik. Lisaks selgus katsete käigus tõsiasi, et kõikidel juhtudel oli müra põhjustava seadme väljundi poolel küllaltki tugev väljundpinge kõikumine, mis on potentsiaalselt kahjulik toidetavale seadmele. Peale uurimise käigus avastatud rikkis kondensaatori vahetust 3-l juhul 4-st kadus nii toiteseadme ebaharilikult suur müra genereerimine võrku, kui ka väljundpinge suur kõikumine. Uurimusest selgus, et müra tekitavad rikkega toiteseadmed ei valmista probleeme ainult ELS sidele vaid võivad suuri probleeme põhjustada ka tarbija poolel. See uurimise tulemus on märkimisväärne, kuna tihti ei mõista kliendid, kelle kodus rikkega müra genereeriv seade avastatakse, miks vahetatakse välja nende seade, mis esialgsel vaatlusel tundub korrektselt töötav.

KOKKUVÕTE

Lõputöös kirjeldati elektriliinsidet üldiselt. Tutvustati põgusalt elektromagnetlainete spektrit ja elektromagnetlainete levimist mõistmaks, miks on vaja erinevate sagedusalade kasutamist reguleerida. Tehti ülevaade Elektrilevi jaotusvõrgus kasutatavatest kauglugemis süsteemidest. Elektriliinsidet kasutavale kauglugemisele põhjustavad häiringuid riketega toiteseadmed. Lõputöö põhi eesmärk oli leida toiteseadmete rike, mis konkreetselt elektriliinsidet häirivat müra põhjustab.

Selleks uuriti nelja erinevat impulsstoiteseadet, mis elektriliinsidet häirivat müra tekitasid. Toiteseadmete uurimine andis vastuse küsimusele, milline konkreetne komponent toiteseadmetel rikkega oli. Oluline osa uurimusest oli ka müra tekitava toiteseadme väljundpinge mõõtmine. Selles osas jõuti tulemusele, mille põhjal võib öelda, et müra põhjustava toiteseadme väljund on samuti probleemne. Väljundpinges toimus müra põhjustava toiteseadme puhul suhteliselt suur pinge kõikumine. Selle põhjal võib väita, et taolised toiteseadmed võivad lisaks elektriliinside häirimisele põhjustada probleeme ka toiteseadme väljundisse ühendatavatele seadmetele. Lisaks võivad taolised seadmed häirida teisi võrgus töötavaid seadmeid.

KIRJANDUSE LOETELU

- [1] **Ersan Kabalci, Yasin Kabalci** (2019). Power line communication technologies in smart grids
- [2] Standard - CENELEC - EN 50065-1
- [3] **Michele Sclocchi** (2010). Input Filter Design for Switching Power
- [4] University of Bergen. The Electromagnetic spectrum. [veebileht] <https://www.uib.no/en/hms-portalen/75292/electromagnetic-spectrum> (13.05.2021)
- [5] Electronics notes. EMI Electromagnetic Interference: the fundamentals. [veebileht] https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/emc-emi-electromagnetic-interference-compatibility/what-is-emi-basics-tutorial.php (13.05.2021)
- [6] **L. Lampe, L.T. Berger** (2016). Power line communications - Academic Press Library in Mobile and Wireless Communications
- [7] Wattlet. PLC technology – Powerline communication. [veebileht] <http://www.wattlet.fr/wattlet-connected-energy-control/plc-technology/?lang=en> (15.05.2021)
- [8] Wattlet. What is Power Line Communication?. [veebileht] <http://www.wattlet.fr/wattlet-connected-energy-control/plc-technology/?lang=en> (15.05.2021)
- [9] Elektrilevi [veebileht] <https://www.elektrilevi.ee/et/ettevottest/elektrilevi-tutvustus> (15.05.2021)
- [10] Elektrituruseadus. (Vastu võetud 11.02.2003, viimati jõustunud 01.07.2020). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/130062020028> (24.05.2021)
- [11] **R. Teemets** (2012) Elektrivarustus – ainekursuse materjalid
- [12] Elektrilevi. Näidud. [veebileht] <https://www.elektrilevi.ee/et/eteenindus/naidud> (20.05.2021)

[13] LandysGyr. E450. [veebileht] <https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e450/> (20.05.2021)

[14] LandysGyr. DC450 Technical Data. [veebileht] https://www.landisgyr.com/webfoo/wp-content/uploads/2013/05/03.300-DC450_Technische_Daten_e.pdf (20.05.2021)

[15] **L. Kütt, M. Parker, M. Jarkovoi, H. Mölder, M. Jaanus, J. Niinemägi** (2020). Elektriliini andmeside häiringu kindluse analüüs Elektrilevi OÜ madalpinge jaotusvõrgus

[16] **P. Chebotayev** (2019). Analysis of the Level of SNR in the PLC Channel Based on the Results of Mathematical and Physical Modelling. J. Phys.: Conf. Ser. 1145 012013

[17] **E. Tholen** (2012) Swemet's mfa 400 – the solution for PLC network troubleshooting.- Metering International Issue-2

[18] Sengpielaudio. Decibel level conversion to volt [veebileht] <http://www.sengpielaudio.com/calculator-db-volt.htm> (21.05.2021)

[19] Farnell. Bitscope datasheet [veebileht] <http://www.farnell.com/datasheets/1836154.pdf> (21.05.2021)

[20] EtechnoG. SMPS Block Diagram [veebileht] <https://www.etechnog.com/2019/05/smps-block-diagram.html> (22.05.2021)

[21] Sunpower Electronics. Switch Mode Power Supply [veebileht] <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-switch-mode-power-supply/> (22.05.2021)

[22] Electronic Notes. Electromagnetic Interference Compatibility [veebileht] https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/emc-emi-electromagnetic-interference-compatibility/cispr22-en55022-standard.php (22.05.2021)

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning
juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Hendrik Saarnak,

(*autori nimi*)

Sünniaeg 28.05.1992 ,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

**IMPULSSTOITSEADMETE PÕHJUSTATUD HÄIRINGUD
MADALPINGEVÕRGUS ELEKTRILIINSIDELE,**

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on Janar Kalder ,

(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor Hendrik Saarnak /*allkiri digitaalselt*/

(*allkiri*)

Tartu, 28.05.2021

(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Janar Kalder /*allkiri digitaalselt*/

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

28.05.2021

(*kuupäev*)